

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



Grado en Ingeniería Informática

TRABAJO FIN DE GRADO

**APLICACIÓN PARA LA RECOPIACIÓN DE SEÑALES
BIOMÉDICAS DE USO CLÍNICO**

**Alejandro Antonio Martín Almansa
Tutor: Pablo Varona Martínez**

Julio 2017

APLICACIÓN PARA LA RECOPIACIÓN DE SEÑALES BIOMÉDICAS DE USO CLÍNICO

AUTOR: Alejandro Antonio Martín Almansa

TUTOR: Pablo Varona Martínez

**Neurocomputación Biológica
Dpto. Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Julio de 2017**

Resumen (castellano)

El Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño (SAHS) es un trastorno del sueño muy común en las personas. Aproximadamente entre el 90-95% de los enfermos de esta patología no están diagnosticados debido al alto coste y al exclusivo acceso hospitalario de la prueba diagnóstica (polisomnografía). Las personas que padecen el SAHS sufren importantes limitaciones que afectan a su día a día. Por ello, son relevantes los sistemas de recomendación de diagnóstico de SAHS sencillos de utilizar, de bajo coste y accesibles para un alto porcentaje de la población.

En este Trabajo Fin de Grado se ha desarrollado una primera fase de la aplicación Apneadiag para dispositivos móviles con sistema operativo Android, que en su versión final, sea capaz de recomendar el diagnóstico del SAHS. El objetivo de la aplicación desarrollada es realizar con el dispositivo móvil una grabación nocturna de los sonidos respiratorios del paciente fuera de las Unidades de Sueño de los Hospitales. El paciente, además de grabar con el móvil, esa misma noche deberá realizar también la prueba diagnóstica de Polisomnografía, para que posteriormente se puedan comparar ambos datos registrados.

Palabras clave (castellano)

Android, Aplicación, Grabación de Sonidos Respiratorios, Móvil, Oxihemoglobina, Paciente, Polisomnografía, Recomendación de Diagnóstico, Ronquido, SAHS

Abstract (English)

The Obstructive Sleep Apnea Syndrome (OSAS) is a very common sleep disorder in people. Approximately, between 90-95% of patients with this pathology are not diagnosed because of the cost and exclusive hospital access to the diagnosis test (polysomnography). People who endure OSAS suffer important limitations that affect to their daily routine. For this reason, simple, low cost and accessible recommendation tools of OSAS diagnoses are needed.

In this Bachelor Thesis the first stage of the application Apneadiag was developed for smartphones with Android operative system, which in its final version will be able to recommend the diagnosis of OSAS. The goal of this app, is to perform a nocturnal recording of respiratory sounds with the smartphone out of the hospital's Sleep Units. The patient, in addition to record with the phone, will simultaneously perform a home poligraphy so that the information from the poligraphy can be compared with the respiratory sounds as recorded by the smartphone.

Keywords (inglés)

Android, Application, Recommendation of Diagnosis, Recording of Respiratory Sounds, Mobile Phone, Oxyhaemoglobin, Patient, Polysomnography, Snore, OSAS

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a toda mi familia: mis padres y mi hermano. Ellos son los que me han apoyado, ayudado y se han preocupado por mí día a día durante estos cuatro años. Sin ellos no hubiese sido posible. Muchas Gracias de corazón. Os quiero.

Por supuesto, mencionar a mis abuelos. Ellos también me han arropado y me han servido como ejemplo de superación en mi rutina diaria.

También me gustaría agradecer a todas aquellas personas que he conocido y me han ayudado durante estos cuatro años en la universidad: compañeros de prácticas, profesores, personal de la universidad, pero en especial a mis amigos, aquellos con los que casi desde el primer día hemos compartido risas y buen rollo. Sé que podré contar siempre con vosotros.

Mis amigos Emi y Javi. Siempre me han hecho creer que podía superar los retos y adversidades en estos años. Gracias por vuestros consejos y por estar siempre a mi lado.

Gracias también a todas las personas del equipo de investigación del proyecto que me han ayudado compartiendo sus opiniones y dándome consejos para el diseño y desarrollo de la aplicación. Ángela Ramos Pinedo (Doctora del Hospital Fundación de Alcorcón), Francisco de Borja Rodríguez Ortiz, Francisco Rodríguez González y Óscar (Técnico del Hospital Fundación de Alcorcón), gracias por tratarme como uno más.

Gracias al Hospital Fundación de Alcorcón por darme la oportunidad de formar parte de este bonito e ilusionante proyecto de investigación.

Y por último, y no menos importante, gracias a mi Tutor, Pablo Varona Martínez, por estos meses de ayuda constante. Gracias por todos los consejos, por la constante preocupación y dedicación, por enseñarme y compartir sus conocimientos y por hacerme sentir tan a gusto estos meses. Ha sido un placer. Muchas Gracias.

INDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	2
2 ESTADO DEL ARTE	3
2.1 DISPOSITIVOS MÓVILES Y LA SALUD	3
2.2 MERCADO DE APLICACIONES EN EL SECTOR SALUD	4
2.3 APNEA DEL SUEÑO	6
2.4 ESTUDIO DE SISTEMAS OPERATIVOS EN DISPOSITIVOS MÓVILES.....	9
3 DISEÑO	11
3.1 REQUISITOS	11
3.1.1 <i>Requisitos Funcionales</i>	11
3.1.2 <i>Requisitos No Funcionales</i>	12
3.2 CASOS DE USO.....	13
3.3 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA.....	14
3.4 NOTIFICACIONES Y AVISOS	20
3.5 DIAGRAMA DE ESTADOS	22
4 DESARROLLO.....	23
4.1 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	23
4.1.1 <i>Maquetas y Diagramas</i>	23
4.1.2 <i>Imágenes y elementos de la aplicación</i>	23
4.1.3 <i>Entorno de desarrollo</i>	24
4.1.4 <i>Análisis de Audios</i>	24
4.2 GRABACIÓN DE SONIDO.....	24
4.3 SISTEMA DE ALARMAS	25
5 INTEGRACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS	27
5.1 PRUEBAS DE LA INTERFAZ GRÁFICA.....	27
5.2 PRUEBAS DE PARÁMETROS DE GRABACIÓN	27
5.3 PRUEBAS DE GRABACIÓN	27
6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	32
6.1 CONCLUSIONES.....	32
6.2 TRABAJO FUTURO	32
REFERENCIAS	35
GLOSARIO	39
ANEXOS	I
A MANUAL DE INSTALACIÓN.....	I
B MANUAL DE USO PARA EL TÉCNICO DEL HOSPITAL	III
C INSTRUCCIONES DE USO	IV
D MAQUETAS DE LA APLICACIÓN	- 1 -

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: APLICACIÓN GOOGLE FIT	4
FIGURA 2-2: APLICACIÓN RITMO CARDÍACO – MONITOR PULSO.....	5
FIGURA 2-3: APLICACIÓN BILLI CAM Y TARJETA DE CALIBRACIÓN	5
FIGURA 2-4: APLICACIÓN LIBER LINK	6
FIGURA 2-5: ESTADOS DE LA VÍA AÉREA SUPERIOR	7
FIGURA 2-6: POLISOMNOGRAFÍA NOCTURNA	7
FIGURA 2-7: POLIGRAFÍA NOCTURNA DEL SUEÑO DOMICILIARIA	8
FIGURA 2-8: GRÁFICO DEL MERCADO DE SISTEMAS OPERATIVOS EN TODOS LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.....	9
FIGURA 2-9: GRÁFICO DEL PORCENTAJE DE DISPOSITIVOS QUE USAN CADA VERSIÓN DE ANDROID	10
FIGURA 2-10: GRÁFICO DEL PORCENTAJE DE DISPOSITIVOS EN LOS QUE FUNCIONARÍA CADA VERSIÓN ANDROID.....	10
FIGURA 3-1: DIAGRAMA DE CASOS DE USO APNEADIAG	13
FIGURA 3-2: <i>SPLASH SCREEN</i>	15
FIGURA 3-3: FORMULARIO DE REGISTRO DEL PACIENTE	15
FIGURA 3-4: CUADRO DE DIÁLOGO PARA CONFIRMAR EL ID DE PACIENTE INTRODUCIDO.....	16
FIGURA 3-5: INSTRUCCIONES DE USO DE LA APLICACIÓN	16
FIGURA 3-6: BOTÓN ACEPTAR	17
FIGURA 3-7: ICONO DE AJUSTES DE LA APLICACIÓN.....	17
FIGURA 3-8: PANTALLA DE GRABACIÓN: ESTADO LISTO	17
FIGURA 3-9: PANTALLA DE GRABACIÓN: ESTADO GRABANDO.....	18
FIGURA 3-10: PANTALLA DE GRABACIÓN: ESTADO FINALIZADO	19
FIGURA 3-11: AJUSTES DE LA APLICACIÓN	20
FIGURA 3-12: NOTIFICACIÓN MODO AVIÓN	21
FIGURA 3-13: NOTIFICACIÓN CONECTAR CARGADOR	21

FIGURA 3-14: CUADRO DE DIÁLOGO PARA AVISAR AL TÉCNICO QUE DEBE RELLENAR EL ID DEL PACIENTE EN EL FORMULARIO DE REGISTRO.....	21
FIGURA 3-15: CUADRO DE DIÁLOGO PARA AVISAR AL USUARIO DEL ESPACIO QUE DEBE LIBERA ..	21
FIGURA 3-16: DIAGRAMA DE ESTADOS APNEADIAG	22
FIGURA 4-1: ICONO DE LA APLICACIÓN APNEADIAG	23
FIGURA 4-2: LOGO DE LA APLICACIÓN APNEADIAG	24
FIGURA 4-3: DIAGRAMA DE ESTADOS DE LA GRABADORA <i>MEDIARECORDER</i>	25
FIGURA 5-1: FORMA DE ONDA DE UNA GRABACIÓN CON RONQUIDOS.....	28
FIGURA 5-2: ESPECTRO DE UNA GRABACIÓN CON RONQUIDOS	28
FIGURA 5-3: FORMA DE ONDA DE UNA GRABACIÓN REALIZADA CON EL MÓVIL SIN RONQUIDOS ...	28
FIGURA 5-4: ESPECTRO DE UNA GRABACIÓN REALIZADA CON EL MÓVIL SIN RONQUIDOS.....	28
FIGURA 5-6: POLÍGRAFO Y PULSIOXIMETRÍA.....	29
FIGURA 5-5: SATURACIÓN DE OXÍGENO DE LA HEMOGLOBINA EN SANGRE MEDIDA CON LA PULSIOXIMETRÍA	29
FIGURA 5-7: DECIBELIOS (dB) DE LOS RONQUIDOS DE LA GRABACIÓN NOCTURNA MEDIDOS CON EL POLÍGRAFO	29
FIGURA 5-8: FORMA DE ONDA DE UNA GRABACIÓN REALIZADA CON EL MÓVIL JUNTO CON EL POLÍGRAFO	30
FIGURA 5-9: ESPECTRO DE UNA GRABACIÓN REALIZADA CON EL MÓVIL JUNTO CON EL POLÍGRAFO	30
FIGURA 5-10: ZOOM DEL ESPECTRO DE LA GRABACIÓN REALIZADA CON EL MÓVIL JUNTO CON EL POLÍGRAFO	30

1 Introducción

1.1 Motivación

El Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño (SAHS), también conocido como Síndrome de Apnea del Sueño, es un trastorno muy común en las personas mientras duermen. Este síndrome del sueño, se basa en la aparición de eventos que impiden el paso del aire por la vía aérea superior debido a la obstrucción parcial o total de la misma. Estos sucesos pueden dar lugar a trastornos neuropsiquiátricos, respiratorios y cardíacos.

El SAHS tiene un impacto social y económico en las personas que lo padecen, ya que el cansancio que genera por falta de descanso durante la noche, puede dificultar su calidad de vida, debido a que aumenta el riesgo de sufrir incidentes por el cansancio acumulado o por falta de concentración o atención.

Para ser un trastorno de tal magnitud, alrededor del 90% de las personas que padecen el SAHS no están diagnosticadas. Esto se debe al alto coste de la prueba diagnóstica (Polisomnografía, PSG) y a la poca disponibilidad de camas de las Unidades de Sueño de los hospitales. Por estas razones, sería fundamental y de gran ayuda para el Sector Salud el disponer de sistemas de recomendación de diagnóstico sencillos de utilizar, de bajo coste y que alcance a la gran mayoría de la población mundial.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es diseñar una infraestructura de registro de sonidos respiratorios del sueño que sirva en un futuro para desarrollar un método recomendación de diagnóstico para el SAHS de bajo coste, sencillo y que pueda alcanzar a la mayoría de la población mundial. Por ello, se ha decidido realizar una aplicación para dispositivos móviles, ya que casi el 70% de la población mundial posee un dispositivo móvil.

En este Trabajo de Fin de grado se ha desarrollado la primera fase de la aplicación Apneadiag para dispositivos móviles con sistema operativo Android, y que, en su versión final, deberá ser capaz de realizar una recomendación de diagnóstico del SAHS para aquellas personas que lo deseen.

En esta primera fase, la aplicación deberá grabar los sonidos nocturnos del paciente en la misma noche en la cual se registran los datos con una poligrafía domiciliaria. Una vez recogidos los sonidos, tanto de la aplicación, como de la poligrafía, se descargarán en el Hospital Fundación de Alcorcón, para su análisis. El tratamiento de las grabaciones en relación a los eventos que se utilizan para el diagnóstico de la poligrafía pueden utilizarse para un futuro sistema de recomendación de diagnóstico de SAHS.

1.3 Organización de la memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- **Capítulo 1. Introducción:** motivación, objetivos y organización de la memoria.
- **Capítulo 2. Estado del arte:** análisis del sector salud y los dispositivos móviles, estudio del mercado de las aplicaciones del sector sanitario que utilizan los sensores de los dispositivos móviles, explicación del SAHS (diagnóstico, problemas y soluciones) y estudio del mercado de los sistemas operativos presentes en los dispositivos móviles.
- **Capítulo 3. Diseño:** catálogo de requisitos tanto funcionales, como no funcionales del sistema, diagrama de casos de uso de la aplicación, explicación de las diferentes pantallas de la interfaz gráfica de la aplicación, análisis de las notificaciones y avisos con los que cuenta la aplicación y por último se muestra el diagrama de transición de estados de las pantallas de la aplicación.
- **Capítulo 4. Desarrollo:** se mencionan todas las tecnologías y herramientas utilizadas para el desarrollo de la aplicación y la presente memoria, y se analizan los procesos de grabación y el sistema de alarmas.
- **Capítulo 5. Integración, pruebas y resultados:** en este apartado se explican las numerosas pruebas realizadas durante el desarrollo y al final del proyecto, con sus resultados asociados.
- **Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro:** se enuncian las conclusiones obtenidas y se analiza el trabajo que se realizará en el futuro sobre la aplicación.
- **Referencias:** se enumeran las fuentes utilizadas para el desarrollo de esta memoria.
- **Glosario:** palabras y términos empleados en la memoria que puede que no se sepa su significado.
- **Anexos:** se adjuntan el manual de instalación de la aplicación, el manual para el técnico del hospital, las instrucciones de uso y las maquetas de las pantallas de la aplicación.

2 Estado del arte

2.1 Dispositivos Móviles y la Salud

Las nuevas tecnologías permiten monitorizar todo lo que realizamos en nuestra vida, tanto pública, como privada, acumular a gran escala información de todo tipo almacenarla de forma adecuada y tratar dicha información [1]. El uso de estas nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) cambiará a corto y medio plazo el sector salud, a pesar de ser uno de los sectores más complejos y que se adapta con mayor lentitud a este ámbito [2].

En los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías médicas con un coste cada vez inferior que generan millones de datos que se almacenan diariamente. Se ha estimado que en 2012 se produjeron alrededor de 500 petabytes (1 PB = 10^{15} Bytes) de datos digitales de salud y que en 2020 serán en torno a 25.000 petabytes [3]. Pero no todo son ventajas, ya que la información biomédica es muy heterogénea, suele ser muy voluminosa y está almacenada de forma dispersa. Un reto fundamental para que el sector salud pueda avanzar en el ámbito de las TIC, es recoger dicha información y almacenarla de modo que se pueda analizar, compartir y utilizar fácilmente.

Si esto se consigue, se obtendrán diferentes beneficios que harán que el sector salud evolucione, ya que todos estos datos pueden ser muy útiles para investigar patologías, generar nuevos tratamientos, diagnósticos y protocolos de seguimiento más eficaces, valorar los efectos de los medicamentos, mejorar la administración de la gestión médica, etc.

Una parte esencial en la evolución del sector la ocupan los dispositivos móviles. Los usuarios de móvil superan los 5.000 millones [6] (un 67% de la población total: 7.500 millones de personas aproximadamente [7]). Estos dispositivos disponen de diferentes sensores capaces de recoger, tratar y comunicar información relacionada con la salud en tiempo real. Por ello, la incorporación a los móviles de aplicaciones que utilicen dichos sensores para el diagnóstico y tratamiento de patologías, provocará una mejora en la esperanza y calidad de vida. Los dispositivos móviles también pueden conducir a un abaratamiento de los sistemas de diagnóstico y seguimiento de enfermedades, así como a la universalización de dichos sistemas.

2.2 Mercado de Aplicaciones en el Sector Salud

En este apartado se examinan algunas de las diferentes aplicaciones para dispositivos móviles, que mediante el uso de los sensores del dispositivo en el cual se encuentran instaladas, ayudan a que el sector de la salud crezca en el entorno de las TIC.

Posiblemente la aplicación más conocida por los usuarios de Android en este campo sea Google Fit (Figura 2-1) [8]. Esta aplicación realiza un seguimiento de las actividades que realizan los usuarios. Almacena datos, como son: los minutos durante los cuales el usuario ha realizado la actividad, los kilómetros recorridos, las calorías quemadas o los pasos dados. Todos estos datos registrados en Google Fit, ya sea, cuando el usuario corre, anda, o monta en bicicleta, pueden ser accedidos en tiempo real.

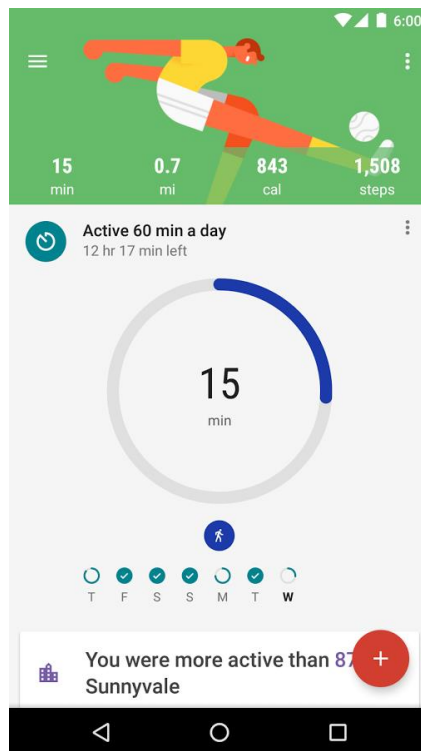


Figura 2-1: Aplicación Google Fit¹

Google Fit no utiliza sensores que nos midan el ritmo cardíaco. Por ello podemos combinar Google Fit con Ritmo Cardíaco – Monitor Pulso (*Instant Heart Rate*) (Figura 2-2) [9]. Colocando la punta del dedo índice sobre la cámara del teléfono, esta aplicación mide la frecuencia cardíaca del usuario, mostrando en la pantalla del dispositivo móvil un gráfico para conocer en tiempo real el ritmo de los latidos del corazón.

¹ Fuente: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.fitness&hl=es>

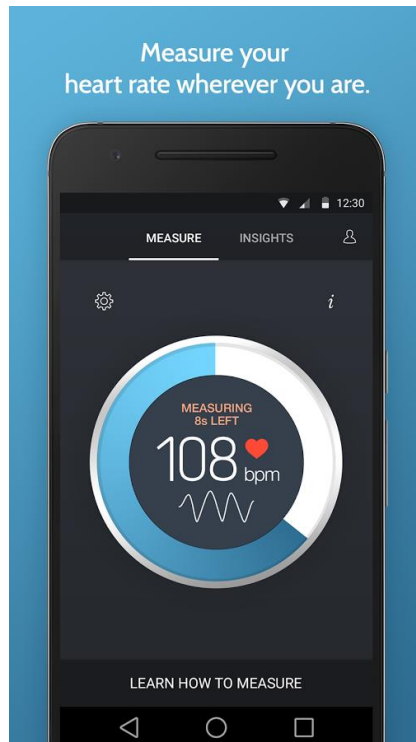


Figura 2-2: Aplicación Ritmo Cardíaco – Monitor Pulso²

BilliCam (Figura 2-3) [10] es otra aplicación que utiliza los sensores de los dispositivos móviles. Fue desarrollada por un equipo de investigadores de la University of Washington en Seattle [11] y la Southern Methodist University en Dallas [12], para conseguir diagnosticar la ictericia neonatal (o del recién nacido) [13]. Es una aplicación simple de utilizar, ya que no está orientada solo hacia los profesionales de la salud, sino también hacia los padres. La aplicación cuenta con una tarjeta de calibración (usada para distinguir la luz y el tono de la piel del bebé), que deberá ser colocada en el vientre del recién nacido (como en la Figura 2-3), para posteriormente hacer la foto, y así poder diagnosticar si el bebé tiene ictericia neonatal.



Figura 2-3: Aplicación Billi Cam y Tarjeta de Calibración³

² Fuente: <https://play.google.com/store/apps/details?id=si.modula.android.instantheartrate&hl=es>

³ Fuente: <http://www.bilicam.com/>

Para simplificar el manejo de la diabetes, Abbott [15], con la ayuda de AirStrip [16], presentó la aplicación LiberLink (Figura 2-4) [14]. Es una aplicación capaz de leer y recibir información sobre la glucosa desde un sensor FreeStyle Libre [17], y mostrarla en un dispositivo móvil. Para que esta comunicación entre el móvil y el sensor FreeStyle Libre sea posible, basta con mantenerlos a una distancia pequeña, ya que la aplicación utiliza la tecnología NFC (comunicación de campo cercano) [18]. Con esta aplicación los usuarios, no tendrán la necesidad de pincharse a diario, ya que podrán llevar un control en tiempo real de la glucosa en su dispositivo móvil.

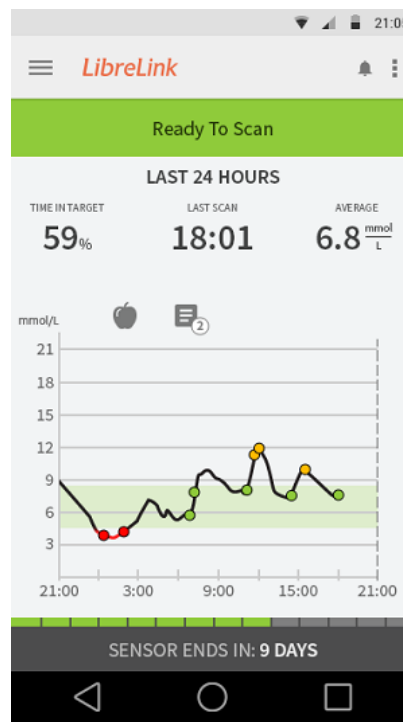


Figura 2-4: Aplicación Liber Link⁴

Regularmente aparecen nuevas aplicaciones. Muchas de ellas utilizan los sensores del propio teléfono, y otras dispositivos adicionales como pulseras. La tecnología de sensores biomédicos evoluciona muy rápidamente y mejoran regularmente tanto en precisión como en consumo energético.

Todas estas aplicaciones y la desarrollada en este TFG tienen un fin común: ayudar al sector salud a evolucionar y mejorar.

2.3 Apnea del Sueño

Uno de los trastornos del sueño más comunes es el Síndrome de Apneas-Hipoapneas del Sueño (SAHS), también conocido como Síndrome de Apnea del Sueño. Este síndrome consiste en la aparición de episodios, apneas e hipoapneas, que impiden el paso del aire durante el sueño como consecuencia de una deformación anatómico-funcional de la Vía aérea superior (VAS, [20]) hasta su colapso [19]. Este colapso produce descensos de la

⁴ Fuente: <http://heinloh.nl/freestyle-libre-apps/>

saturación de oxihemoglobina (SaO_2 , [21]) y microdespertares, provocando trastornos neuropsiquiátricos, respiratorios y cardíacos [19].



Figura 2-5: Estados de la Vía aérea superior⁵

Los pacientes con SAHS presentan importantes limitaciones que dan lugar a un empeoramiento de la calidad de vida [22]. El cansancio que genera, además de dificultar el funcionamiento diario (por ejemplo, aumentar el riesgo de accidentes de tráfico), contribuye a aumentar la mortalidad de los pacientes que padecen SAHS [22].

Solo del 5% al 10% de la población que padece SAHS están diagnosticados [23]. Esto se debe al alto coste de la prueba diagnóstica (Polisomnografía, Figura 2-6), que ronda los 788\$ (1057€) y a las pocas camas y especialistas que disponen las Unidades de Sueño de los hospitales en relación a la población mundial [24]. Para diagnosticar el SAHS, además de revisar la historia clínica y realizar un examen físico del paciente, es necesario obtener la prueba definitiva en el laboratorio mediante una Polisomnografía clínica (PSG) [24]. La PSG es una prueba que se realiza a lo largo de la noche y consiste en el registro de la actividad cerebral, de la respiración, del ritmo cardíaco, de la actividad muscular y de los niveles de oxígeno en sangre mientras se duerme [25].

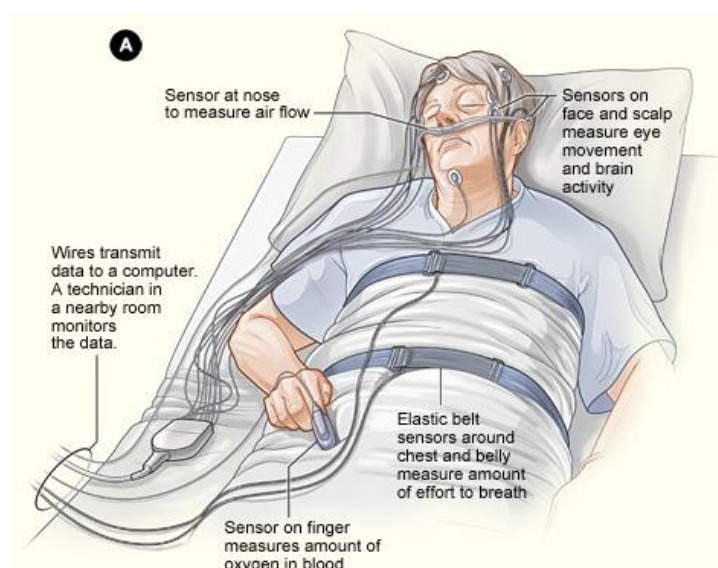


Figura 2-6: Polisomnografía Nocturna⁶

⁵ Fuente: <http://www.odontal.com/ronquido-apnea-del-sueno/>

⁶ Fuente: <http://www.aystesis.com/procedimientos/medicina-del-sueno/polisomnografia/>

Para afrontar estas dificultades se han desarrollado sistemas de grabación cuyo objetivo es abarcar un mayor número de la población reduciendo el coste y los parámetros de grabación [24]. Un ejemplo de estas técnicas es la que se ha denominado Poligrafía Nocturna del Sueño Domiciliaria (Figura 2-7) [26].



Figura 2-7: Poligrafía Nocturna del Sueño Domiciliaria

Es una técnica para la cual se han desarrollado equipos portátiles (para que se pueda realizar tanto en el hospital como en el domicilio personal) que registra el flujo del aire, el estado de contracción muscular, los sonidos emitidos y el ritmo cardíaco [26]. Cuenta con una desventaja con respecto a la Polisomnografía convencional, ya que si se trata de casos en los cuales después de realizar la Poligrafía Domiciliaria se sospecha una patología neurológica, el paciente debería solicitar una Polisomnografía convencional para que se monitorice su actividad electroencefalográfica y otros parámetros útiles para tal fin [26].

Por estas razones se han de crear nuevas técnicas, además de más baratas, que sean simples de utilizar y que alcancen a la gran mayoría de la población mundial, para favorecer y ayudar al Sector Salud a diagnosticar el SAHS.

Una solución es usar el micrófono del teléfono móvil del paciente. Tal y como se explicó en el apartado 2.1 de esta memoria, hoy en día la mayoría de la población dispone de un móvil que le permita realizar una grabación durante sus horas de sueño. Por lo que, grabar un audio es un método muy útil para monitorizar el sueño, ya que es barato y no molesta el sueño del paciente debido a que el micrófono no necesita interacción para su

funcionamiento. Estos audios se pueden usar para identificar ronquidos, respiración normal o eventos obstructivos, y así ayudar a diagnosticar en el paciente el SAHS [27].

2.4 Estudio de Sistemas Operativos en Dispositivos Móviles

En el presente apartado, se realizará un estudio de los diferentes sistemas operativos de los dispositivos móviles para así comprender porque se ha decidido desarrollar la aplicación de este TFG en el sistema operativo Android y en que versión de éste.

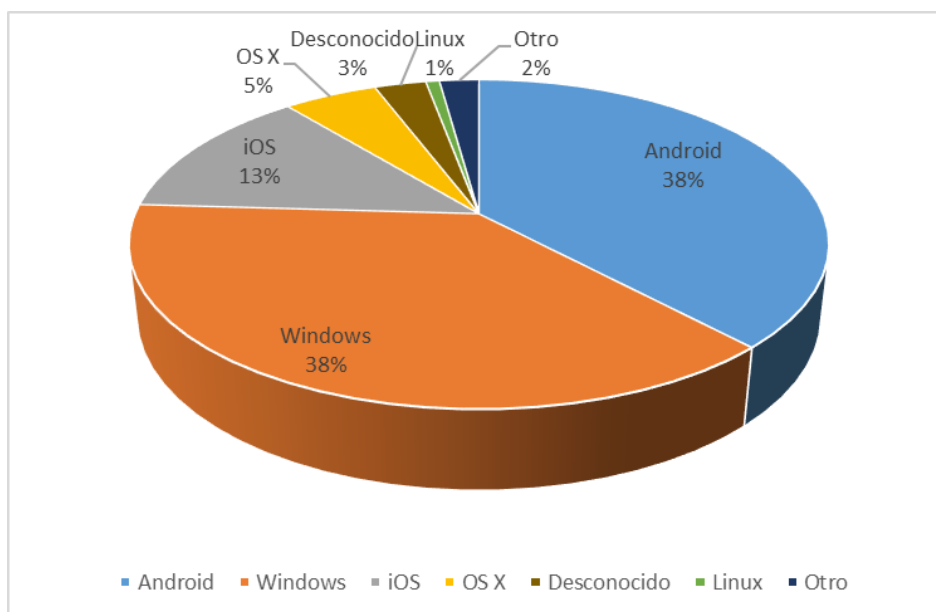


Figura 2-8: Gráfico del Mercado de Sistemas Operativos en todos los dispositivos electrónicos⁷

Como se puede observar en el gráfico de la Figura 2-8, el sistema operativo más usado entre todo tipo de dispositivo es Android, en igualdad de condiciones con Windows. En la parte que corresponde a Windows se tienen en cuenta también los numerosos ordenadores que disponen de este sistema operativo (y ocupan la gran parte de ese porcentaje), por lo que en cuanto a dispositivos móviles, Android tiene una ventaja abultada sobre el resto. Ya que el objetivo principal de esta aplicación es abarcar el mayor número de personas posible, se ha decidido desarrollar la aplicación en Android antes que en otro sistema operativo disponible en dispositivos móviles.

Una vez decidido el sistema operativo, lo siguiente es decidir en qué versión de Android se va a desarrollar la aplicación del presente TFG.

⁷ Fuente: <https://techcrunch.com/2017/04/03/statcounter-android-windows/>

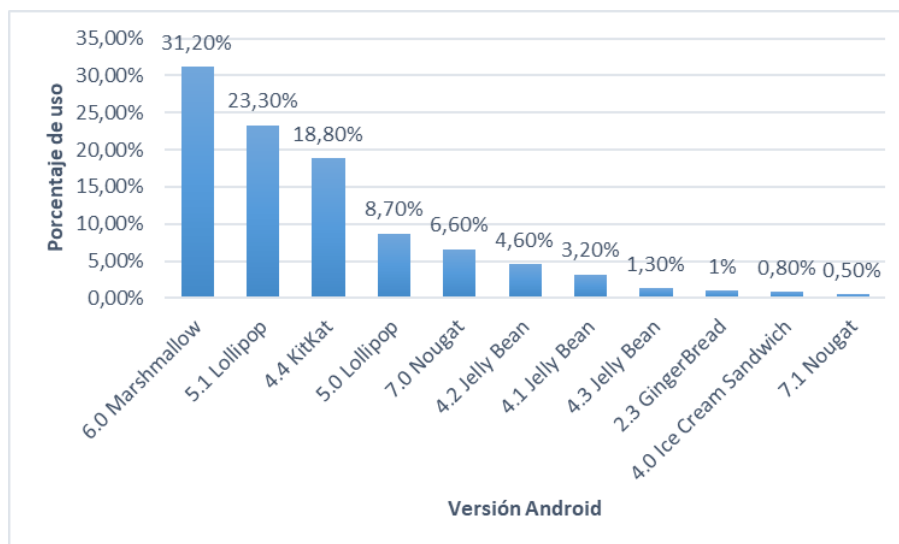


Figura 2-9: Gráfico del Porcentaje de dispositivos que usan cada Versión de Android⁸

Como se observa en el gráfico de la Figura 2-9, la versión de Android que cuenta con más dispositivos en el mercado es la 6.0 Marshmallow. Esto no quiere decir que sea la versión adecuada para la aplicación.

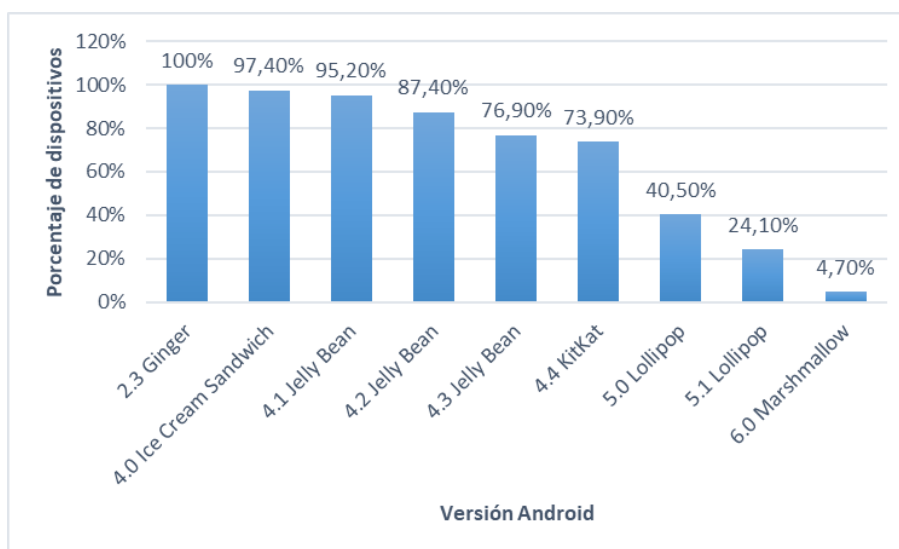


Figura 2-10: Gráfico del Porcentaje de Dispositivos en los que funcionaría cada Versión Android⁹

De la Figura 2-10 obtenemos la respuesta a nuestra cuestión. En el gráfico, podemos observar en qué porcentaje de dispositivos pueden funcionar las aplicaciones en cada versión de Android. La dominante, es la versión 2.3 Ginger. En este caso, no se ha elegido esta versión, debido a su antigüedad. Por eso, la seleccionada ha sido la versión 4.0 Ice Cream Sandwich, que cuenta con un porcentaje bastante cercano al 100% y es una versión bastante más reciente y novedosa que la 2.0.

⁸ Fuente: <https://www.statista.com/statistics/271774/share-of-android-platforms-on-mobile-devices-with-android-os/>

⁹ Fuente: Ventana “Create New Project” en Android Studio [38]

3 Diseño

3.1 Requisitos

El objetivo principal de la aplicación Apneadiag será grabar los sonidos nocturnos de los pacientes que instalen la aplicación en su dispositivo móvil, para después ver si con la grabación se puede realizar una recomendación de diagnóstico. Para ello deberá grabar sonido, con las características que se especifican en los requisitos funcionales, durante las mismas 7 horas en las que el polígrafo registra los parámetros necesarios.

A continuación se enumeran y explican los requisitos tanto funcionales, como no funcionales, que se han encontrado en las reuniones con los integrantes del proyecto.

3.1.1 Requisitos Funcionales

- 1) Permiso Micrófono:
Descripción: La aplicación debe pedir permiso al usuario al instalarse para que pueda grabar con el micrófono del móvil.
- 2) Permiso Almacenamiento:
Descripción: La aplicación debe pedir permiso al usuario al instalarse para poder almacenar la grabación en la memoria interna del teléfono.
- 3) Almacenar ID Paciente:
Descripción: La aplicación debe guardar el identificador del paciente que la utiliza para facilitar el trabajo al técnico del hospital.
- 4) Frecuencia Grabación:
Descripción: La aplicación debe grabar a una frecuencia de 8 kHz.
- 5) Canal Grabación:
Descripción: La aplicación debe grabar en Mono.
- 6) Resolución Bits Grabación:
Descripción: La aplicación debe grabar con una resolución de 16 bits, PCM.
- 7) Duración Grabación:
Descripción: La aplicación debe grabar durante 7 horas.
- 8) Comprobar Espacio Disponible:
Descripción: La aplicación debe comprobar si el teléfono dispone de 100 MB para la grabación del sonido.
- 9) Grabación Programada:
Descripción: La aplicación debe avisar que la grabación nocturna tiene inicio y fin programados.

10) Hora Inicio Grabación:

Descripción: La aplicación debe empezar la grabación a las 23:45 del día de la instalación.

11) Recomendar Modo Avión:

Descripción: La aplicación debe notificar al usuario 15 minutos antes del inicio de la grabación, que se le recomienda activar el modo avión para no interrumpir la grabación con llamadas.

12) Recordar Cargar Teléfono:

Descripción: La aplicación debe notificar al usuario 10 minutos antes del inicio de la grabación que debe poner a cargar el dispositivo móvil para la grabación nocturna.

13) Hora Fin Grabación:

Descripción: La aplicación debe finalizar la grabación a las 6:45 del día siguiente al de la instalación.

14) Indicadores Estado Grabación:

Descripción: La aplicación debe contener indicadores para saber si está lista para grabar, si está grabando o ha finalizado sin tener que levantarse o moverse de la cama.

15) Almacenar Ruta Grabación:

Descripción: El sistema debe guardar en una variable el directorio en el cual se encuentra el archivo, para después saber de dónde extraerlo.

16) Mostrar Ruta Grabación:

Descripción: La aplicación debe mostrar la ruta donde se encuentra el fichero de audio una vez finalizada la grabación.

17) Grabar con Pantalla Bloqueada:

Descripción: Si el dispositivo móvil se bloquea durante la grabación, la aplicación se deberá encargar de seguir grabando.

3.1.2 Requisitos No Funcionales

1) Aplicación Android:

Descripción: La aplicación debe ser desarrollada para sistemas operativos Android.

2) Mayoría de Dispositivos Android:

Descripción: La aplicación debe ser soportada por el mayor número posible de dispositivos Android.

3) Interfaz Simple:

Descripción: La aplicación debe tener una interfaz simple para que las personas que estén menos familiarizadas con los dispositivos móviles puedan utilizarla sin ningún tipo de problema y sin necesidad de ayuda.

4) Fichero .wav:

Descripción: La extensión del fichero de la grabación debe ser .wav.

5) Tamaño Texto:

Descripción: El tamaño de texto de la aplicación debe ser de al menos 14, para las personas que utilicen lentes o lentillas, o personas que tengan problemas de visión puedan utilizar la aplicación sin ningún impedimento.

6) Medio de Instalación:

Descripción: La aplicación se instalará desde el programa Android Studio, presente en el ordenador del Hospital Fundación Alcorcón.

7) Aplicación y Polisomnografía:

Descripción: La noche que se realice la grabación, también se recogerán los datos con la Polisomnografía, por ello, las grabaciones de los sonidos deben ser lo más similares posible en lo que respecta la hora de inicio y la hora de fin de la grabación.

3.2 Casos de uso

A partir de los requisitos recogidos, se han identificado los casos de uso que se muestran en la Figura 3-1.

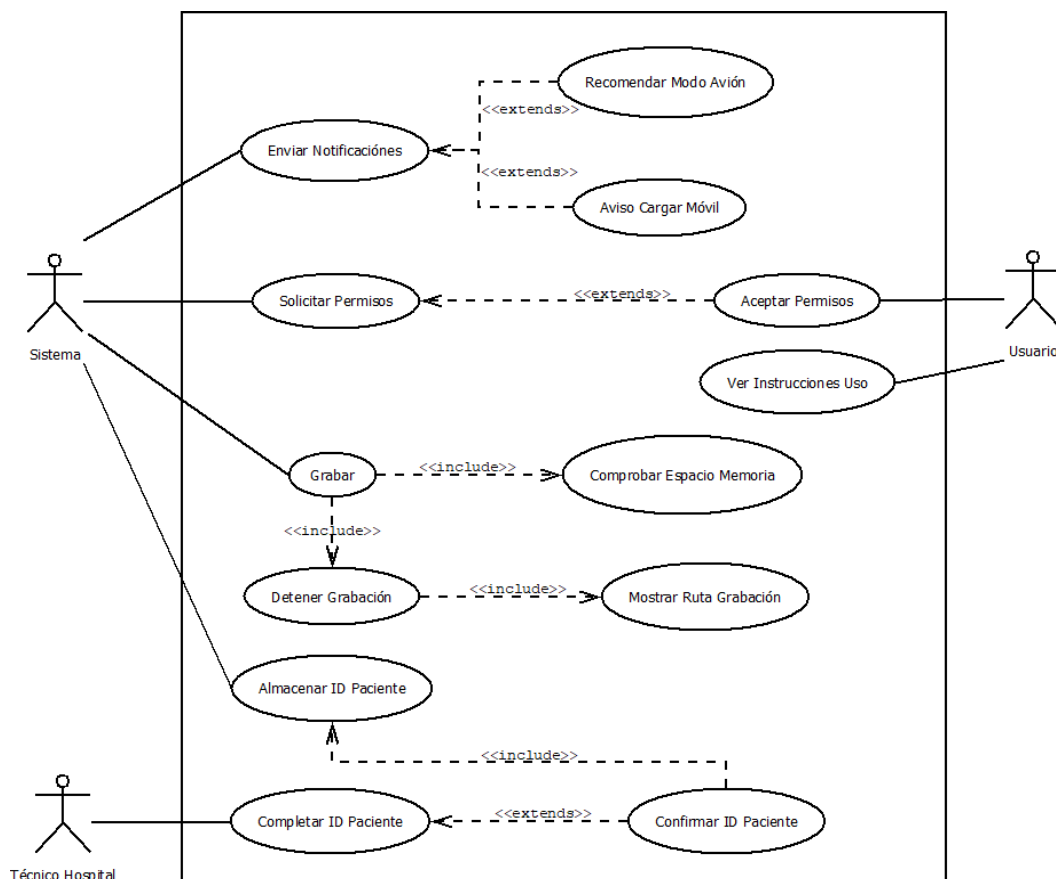


Figura 3-1: Diagrama de Casos de Uso Apneadiag

Como se puede observar, el Sistema realiza sus funcionalidades principales (grabar, enviar notificaciones y solicitar permisos) automáticamente, mediante el uso de alarmas, y sin necesidad de que el Usuario interactúe con él.

El Usuario, simplemente deberá aceptar los permisos que se le soliciten y podrá ver en todo momento, salvo cuando se está grabando, las instrucciones de uso de la aplicación.

El otro actor presente en el flujo de la aplicación es el Técnico del Hospital. Éste es el encargado de instalar la aplicación en el dispositivo móvil del usuario. El Técnico sólo deberá introducir el ID del Paciente asociado a la aplicación cuando se le solicite.

3.3 Diseño de la Interfaz Gráfica

Como preparatorio para el desarrollo de la aplicación, se han desarrollado las maquetas de la interfaz gráfica de la aplicación. Estas maquetas se encuentran en el Anexo D de la presente memoria. Estas maquetas son una idea inicial de la interfaz gráfica, que según se ha ido desarrollando el proyecto, han podido cambiar su diseño en función de los nuevos requisitos recogidos y los cambios en éstos.

El objetivo fundamental de la interfaz gráfica es cumplir con el requisito no funcional 3, es decir, que la interfaz sea simple para que las personas que estén menos familiarizadas con los dispositivos móviles puedan utilizar la aplicación Apneadiag sin ningún tipo de problema y sin necesidad de ayuda de otras personas. Por ello, se ha realizado una interfaz muy simple, con la cual el usuario apenas necesita interacción con ella, y muy intuitiva, ya que dispone de pocas pantallas.

Además del número reducido de pantallas y de la interfaz simple, el usuario dispone en la aplicación de una pantalla de Instrucciones de Uso a la cual puede acceder siempre que lo desee, salvo cuando la grabación está en curso, si en cualquier momento le surge alguna duda acerca del uso de Apneadiag.

A continuación, se muestran las pantallas definitivas de la interfaz gráfica de la aplicación y se explica la funcionalidad de cada una de ellas:

- 1) ***Splash Screen***: Esta pantalla es la que se le muestra al usuario cada vez que abre la aplicación, siempre y cuando éste hubiese cerrado la aplicación. Es una pantalla para informar al usuario que la aplicación se ha abierto. Si esta pantalla no existiese, y la aplicación tardase algunos segundos en cargar y abrirse, el teléfono se quedaría con la pantalla en blanco y podría producir alguna duda en el usuario. Para impedir estos sucesos se ha desarrollado la *Splash Screen*.



Figura 3-2: Splash Screen

- 2) **Formulario de registro del Paciente:** Esta pantalla aparecerá una sola vez en el ciclo de vida de la aplicación. Se abrirá cuando desaparezca la *Splash Screen*, tras la instalación de la aplicación en el dispositivo móvil del usuario. En ella se puede observar un campo a rellenar: el ID del Paciente. Aquí es donde el Técnico del Hospital debe rellenar dicho campo para así asignarle el identificador introducido al paciente correspondiente.

Figura 3-3: Formulario de registro del Paciente

Una vez el Técnico rellene el campo con el identificador, se deberá pulsar el botón “Confirmar”. Pulsando el botón se abrirá el siguiente cuadro de diálogo:

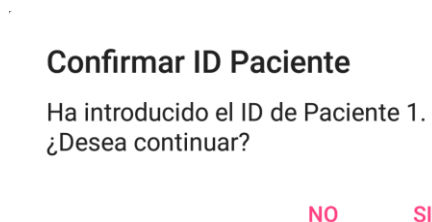


Figura 3-4: Cuadro de diálogo para confirmar el ID de Paciente introducido

El cuadro de diálogo muestra un mensaje de aviso para que el Técnico revise el ID de Paciente que ha introducido en el formulario. Si el ID introducido es incorrecto y el Técnico desea corregirlo, deberá pulsar el botón “NO”, para que la aplicación le devuelva a la pantalla con el formulario. En caso contrario, es decir, si el identificador introducido es correcto, el Técnico deberá pulsar el botón “SI” para que la aplicación le dirija a la siguiente pantalla.

- 3) **Instrucciones de Uso:** Una vez introducido el ID de Paciente correctamente, se dirigirá al usuario a la pantalla en la cual encontrará las Instrucciones de Uso de la aplicación. En ellas se le explicará al usuario el preparatorio para la grabación, los avisos que le llegarán al móvil previos a la grabación y el proceso de grabación en sí (en la Figura 3-5 que se muestra a continuación, no aparecen todas las instrucciones de uso).

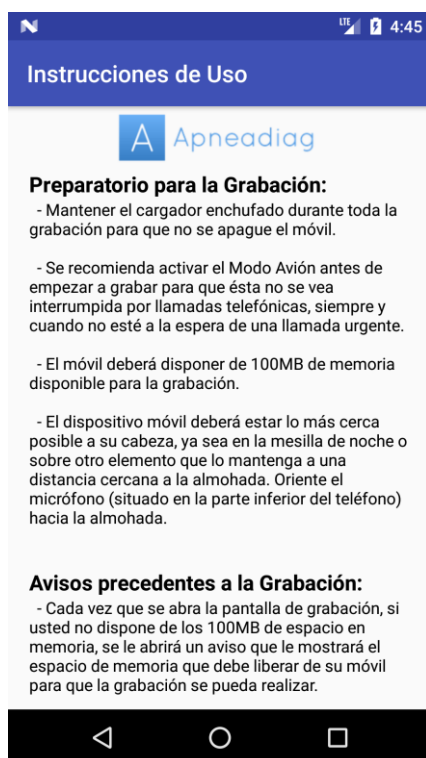


Figura 3-5: Instrucciones de Uso de la aplicación

Al final de esta pantalla, tras leer todas las instrucciones, habrá un botón de “Aceptar”, como el que se muestra en la Figura 3-6.



Figura 3-6: Botón Aceptar

El usuario deberá pulsar sobre él, para que la aplicación le dirija a la siguiente pantalla: la pantalla de grabación.

- 4) **Pantalla de Grabación:** Esta es la pantalla principal de la aplicación Apneadiag. Esta pantalla está formada por tres elementos esenciales que indican en qué estado se encuentra la pantalla. La pantalla puede estar en tres estados: listo, grabando o finalizado. En esta pantalla, todo es automático, salvo que el usuario desee acceder a los ajustes. Para ello debe pulsar sobre el icono que se muestra en la Figura 3-7, que se encuentra en la parte superior derecha de la pantalla.



Figura 3-7: Icono de Ajustes de la aplicación

También desde esta pantalla se envían al usuario las notificaciones (apartado 3.4 de esta memoria). A continuación se explicarán en detalle cada uno de los estados en los cuales puede estar la pantalla:



Figura 3-8: Pantalla de Grabación: Estado Listo

El primero de ellos es el estado Listo (Figura 3-8). La aplicación se encuentra en este estado desde la primera vez que se abre la pantalla de grabación, hasta el inicio de la grabación nocturna. Como muestra la Figura 3-8, la grabación empieza automáticamente a la misma hora a la cual está programado el inicio de la toma de datos del Polígrafo, es decir a las 23:45 del mismo día de la instalación de la aplicación. Una vez comienza la grabación, la aplicación pasa al segundo estado: el estado Grabando (Figura 3-9).



Figura 3-9: Pantalla de Grabación: Estado Grabando

La aplicación grabará durante 7 horas, es decir hasta las 6:45 del día siguiente. Por lo que la aplicación se mantendrá en ese estado durante todo ese intervalo de tiempo. Mientras la aplicación esté en el estado Grabando, el botón de ajustes se desactivará, por lo que el usuario no podrá acceder a los ajustes en este período de tiempo. Al término de las 7 horas, la aplicación pasará al tercer y último estado: el estado Finalizado (Figura 3-10).



Figura 3-10: Pantalla de Grabación: Estado Finalizado

En este estado se entrará, como se ha mencionado, a las 6:45 del día siguiente a la instalación de la aplicación, y no se saldrá de él hasta que se desinstale la aplicación del dispositivo móvil. Una vez se entra en este estado se podrá volver a acceder a los ajustes de la aplicación.

- 5) **Ajustes:** A la pantalla de ajustes se accede, como se ha comentado antes, pulsando en el botón de la Figura 3-7 situado en la pantalla de Grabación. Una vez en ella, se pueden observar tres opciones, como bien muestra la Figura 3-11.

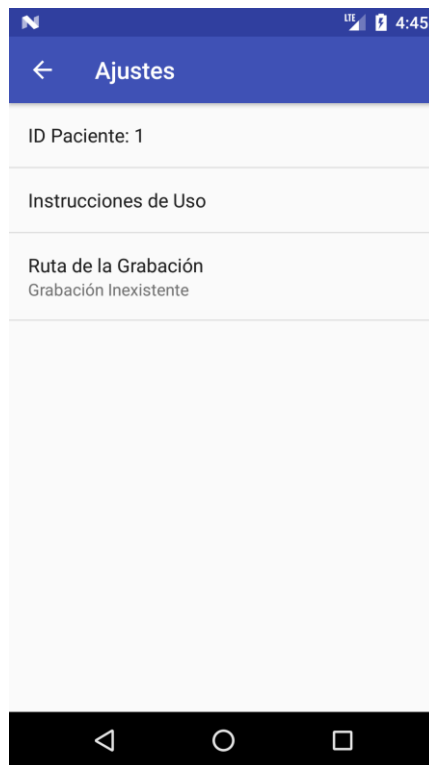


Figura 3-11: Ajustes de la aplicación

La primera de las opciones muestra el ID del Paciente que ha sido introducido en el formulario de la Figura 3-3, ya que es necesario saberlo a la hora de mover el fichero de audio al ordenador. La segunda son las instrucciones de uso de la aplicación (Figura 3-5), pero sin el botón de “Aceptar” (Figura 3-6), ya que en este caso, si se accede a las instrucciones, será para una consulta rápida o recordar alguna instrucción olvidada, por lo que basta con el botón “←” para volver atrás, situado en la parte superior izquierda de la pantalla. La tercera y última es la Ruta de Grabación del archivo de audio en el dispositivo móvil. En caso de que todavía no se haya grabado, como es el caso de la Figura 3-11, en lugar de mostrar la ruta, mostrará el mensaje “Grabación Inexistente”.

3.4 Notificaciones y avisos

Como se recoge en los requisitos, la aplicación cuenta con dos notificaciones diferentes. El objetivo de las notificaciones, es informar al usuario que está utilizando la aplicación de eventos que han sucedido o de requerimientos necesarios para el uso de la aplicación.

En este caso, los dos tipos de notificaciones avisan al usuario de acciones que debe realizar previas a la grabación nocturna. Ambas notificaciones, cuando llegan al móvil del usuario, emiten una vibración para captar la atención de éste, y que así pueda realizar lo que le dice la notificación antes de comenzar la grabación.

La primera notificación que se le enviará al usuario, será 15 minutos antes de comenzar la grabación. Ésta recomienda al usuario activar el modo avión para que la grabación no se vea interrumpida por llamadas telefónicas.

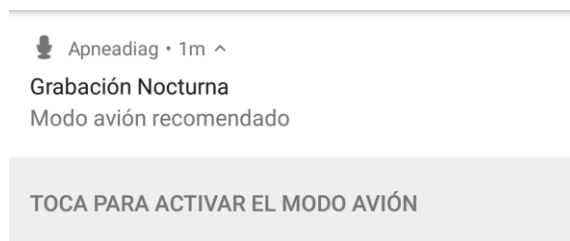


Figura 3-12: Notificación Modo Avión

Si el usuario pulsa sobre esta notificación, se abrirá la pantalla de ajustes en la cual el usuario puede activar o desactivar el modo avión con un click.

La segunda notificación se le enviará 10 minutos antes del inicio de la grabación. Ésta informará al usuario que debe conectar el móvil al cargador para que la batería no se agote durante la grabación nocturna.

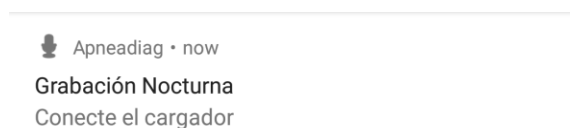


Figura 3-13: Notificación conectar Cargador

La aplicación también cuenta con dos avisos. El primero, abrirá un cuadro de diálogo en caso de que el Técnico del Hospital pulse el botón de “Confirmar” habiendo dejado vacío el campo ID del Paciente en el formulario de registro.

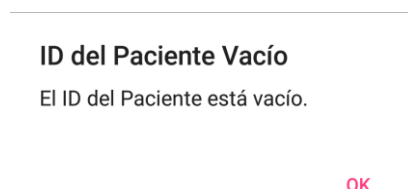


Figura 3-14: Cuadro de diálogo para avisar al Técnico que debe rellenar el ID del Paciente en el formulario de registro

El Técnico deberá pulsar el botón “OK” para volver al formulario e introducir correctamente el ID del Paciente.

El segundo aviso, abrirá un cuadro de diálogo cada vez que se acceda a la pantalla de Grabación, siempre y cuando el usuario no disponga de la memoria suficiente para realizar la grabación.

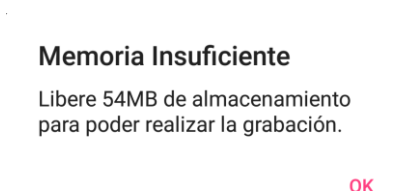


Figura 3-15: Cuadro de diálogo para avisar al usuario del espacio que debe libera

3.5 Diagrama de estados

Los puntos negros son los puntos de inicio, por lo que cuando la aplicación se abra, podrá acceder a las diferentes pantallas de la aplicación, dependiendo si la aplicación se ha cerrado o no. Si se ha cerrado solo accederá a la *Splash Screen*, mientras si no se ha cerrado se abrirá la pantalla en la que se encontraba en el momento de salir de la aplicación.

```

graph TD
    Start(( )) -- "si aplicación cerrada" --> SplashScreen[Splash Screen]
    Start -- "si aplicación no cerrada" --> IDForm[Formulario Registro ID Paciente]
    SplashScreen -- "tras carga" --> IDForm
    IDForm -- "botón Continuar" --> Instructions[Instrucciones de Uso]
    Instructions -- "botón Aceptar" --> Listo[Listo]
    Instructions -- "botón atrás" --> Ajustes[Ajustes]
    Ajustes -- "opción instrucciones" --> Instructions
    Ajustes -- "botón atrás" --> Finalizado[Finalizado]
    Listo -- "botón atrás" --> Ajustes
    Listo -- "23:45" --> Grabando[Grabando]
    Grabando -- "6:45" --> Finalizado
    Finalizado -- "botón atrás" --> Instructions
    Finalizado -- "botón ajustes" --> Ajustes
    Ajustes -- "botón ajustes" --> Listo
    Finalizado -- "cerrar/salir aplicación" --> Exit(( ))
  
```

22

4 Desarrollo

4.1 Tecnologías utilizadas en el desarrollo del proyecto

4.1.1 Maquetas y Diagramas

Para realizar las maquetas y los diagramas se han utilizado las herramientas Moqups [30] y Dia [31].

Moqups es un programa online muy completo, sencillo de usar y con una gran variedad de elementos para poder incluirlos en las maquetas de las pantallas de la aplicación.

Dia se ha utilizado para realizar el diagrama de casos de uso y los diagramas de estados de la aplicación. Se ha elegido esta herramienta, porque a lo largo del Grado la hemos usado en numerosas situaciones y asignaturas, por lo que, siendo una herramienta conocida, ha permitido realizar las tareas sin perder tiempo en aprender a utilizar otros programas.

4.1.2 Imágenes y elementos de la aplicación

En lo que a las imágenes respecta, se han obtenido mediante la herramienta de Google, Búsqueda avanzada de imágenes [32]. Ésta nos permite buscar imágenes cuyo uso no requiera licencias para a partir de ellas elaborar las utilizadas en este proyecto. Una vez se obtenían las imágenes se accedía a su enlace de origen para incluir la fuente en la memoria (la fuente de cada imagen está en el pie de página de la página en la que se encuentra).

Como complemento a la Búsqueda avanzada de Google, se han utilizado tres herramientas de edición de imágenes: Pixir [33], Online Image Editor [34] y BeFunky [35]. Pixir se ha utilizado para pixelar imágenes, ya que es una funcionalidad de la cual no disponen ninguna de las otras dos herramientas de edición. Online Image Editor se ha utilizado para hacer redondos los bordes del icono principal de la aplicación (Figura 4-1). El resto de ediciones se han realizado con BeFunky.



Figura 4-1: Icono de la aplicación Apneadiag

Para obtener el logo de la aplicación (Figura 4-2), se ha utilizado la herramienta online de generación de logos automática Logaster [36].



Figura 4-2: Logo de la aplicación Apneadiag

Para acabar con las herramientas para crear elementos de la aplicación, se ha utilizado la web Da Button Factory [37] para crear los botones y los indicadores de estado de la pantalla de Grabación de la aplicación.

4.1.3 Entorno de desarrollo

Para desarrollar la aplicación se ha utilizado el entorno Android Studio [38]. Se ha elegido este entorno de desarrollo porque como se ha comentado en el punto 2.4 de esta memoria, la mayoría de los dispositivos móviles tienen el sistema operativo Android, para el cual Android Studio es el IDE oficial.

4.1.4 Análisis de Audios

Para analizar los audios que se han grabado con la aplicación Apneadiag durante todo el período de desarrollo, se ha utilizado la aplicación Audacity [39]. En ella se han podido comprobar que los parámetros de grabación eran correctos y se podía reproducir el sonido grabado para comprobar los sonidos respiratorios nocturnos.

Para analizar la Polisomnografía realizada se ha utilizado la herramienta Noxturnal [40], que es utilizada por los médicos especialistas del Hospital Fundación de Alcorcón para recoger los datos de la poligrafía domiciliaria y analizar sus registros. En ella se pueden observar todas las propiedades recogidas por el Polígrafo (ronquidos, pulso, movimiento, etc.).

4.2 Grabación de sonido

La función principal de la aplicación Apneadiag es grabar los sonidos respiratorios nocturnos de los pacientes. Para ello se utiliza una Clase Java cuyo nombre es *MediaRecorder* [41]. Para que el audio cuente con las características deseadas, se le deben asignar los parámetros deseados a la grabadora *MediaRecorder*. La grabación pasará por los estados que se muestran en la Figura 4-3, empezando en el estado Inicial (en el cual no tiene ningún parámetro asignado), hasta volver a llegar al estado Inicial (ya con la grabación finalizada y las características deseadas), para terminar en el estado Liberado, en el cual la grabadora quedará libre y preparada para futuras grabaciones.

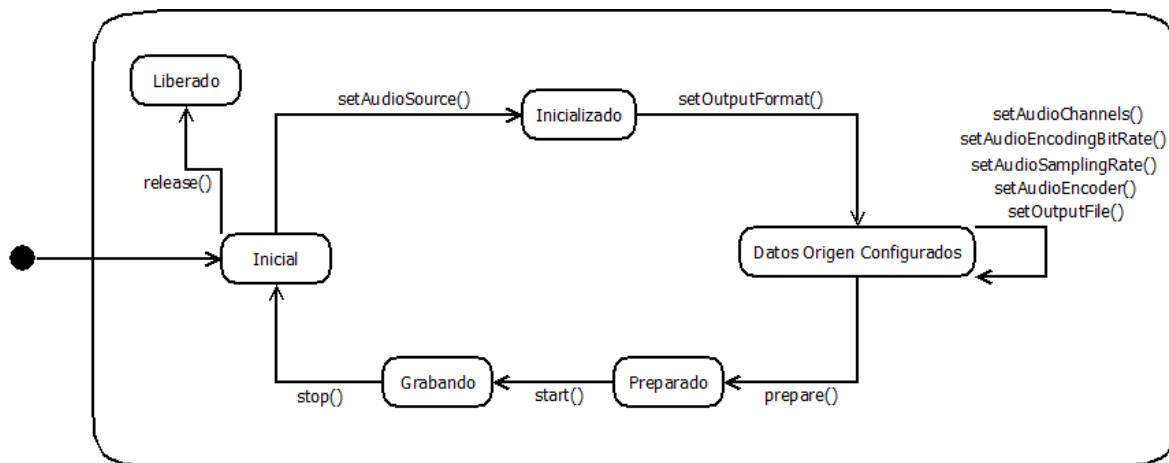


Figura 4-3: Diagrama de estados de la grabadora *MediaRecorder*

La grabación se guardará en la memoria interna del teléfono. En un principio, se planificó almacenarla en la tarjeta de memoria del móvil por el tamaño de los registros correspondientes a una noche entera, pero antes de la versión 4.4 de Android no había ningún método para acceder a la tarjeta de memoria de los móviles desde la aplicación. Por esta razón, para cumplir con el requisito de abarcar el mayor número de usuarios posibles, el audio se guardará en la memoria del teléfono.

4.3 Sistema de Alarmas

Para que la aplicación realice correctamente todo el proceso de grabación, es muy importante usar un sistema de alarmas para que todo se realice automáticamente, y que el usuario no tenga que estar al tanto de pulsar botones para empezar y detener la grabación.

El sistema cuenta con cuatro alarmas que se lanzan a lo largo de la noche. Cada una tiene una función diferente, pero todas están administradas por un mismo gestor: el *AlarmManager* [42]. Las tres primeras están programadas para el día que se instala la aplicación, mientras que la última está programada para el día siguiente a la instalación.

Cada alarma tiene un controlador y un receptor. El controlador es el que gestiona la alarma cuando se activa, mientras que el receptor es el que activa la siguiente alarma. La función principal de las alarmas se puede desempeñar en cualquiera de los dos componentes. En este caso las dos alarmas iniciales desarrollan su función en el controlador, mientras que las dos últimas realizan sus tareas en el receptor.

El flujo de las alarmas es el siguiente. Cuando se crea la pantalla de Grabación se activa la primera de ellas. Cuando se activa, es el controlador el que debe actuar. El controlador la programará para que realice su función, si es que tiene, a la hora establecida. Una vez finalice su proceso, el controlador, enviará un mensaje que tiene como destinatario el receptor de la alarma activa. Éste, al recibirlo, realizará su función en caso de que no lo haya hecho el controlador, y activará la siguiente para volver así a empezar el flujo, hasta llegar a la última que ya no tendrá más alarmas que activar.

Las funciones que desempeñan las cuatro alarmas se describen a continuación:

- La primera alarma está programada a las 23:30. Ésta, enviará una notificación al usuario recomendándole que active el Modo Avión del teléfono para que ninguna llamada interrumpa la grabación.
- La segunda está programada para las 23:35. Su función es enviar una notificación al usuario como recordatorio, para que conecte el cargador al móvil y así no se agote la batería durante la noche.
- La tercera está programada para las 23:45. Ésta deberá comenzar la grabación de los sonidos respiratorios nocturnos del paciente.
- La última está programada para las 6:45 del día siguiente. Su función será detener la grabación.

Los horarios se han escogido siguiendo el programa de grabación de los dispositivos T3 de Noxturnal que se utilizan en la poligrafía domiciliaria.

5 Integración, pruebas y resultados

5.1 Pruebas de la interfaz gráfica

Estas son las pruebas para confirmar que se han cumplido los requisitos referentes a la interfaz gráfica. Su objetivo es comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación en cuanto a las pantallas se refiere. Estas pruebas se han realizado a lo largo de la fase de desarrollo del proyecto al modificar constantemente la interfaz, para comprobar que estos cambios no generaban ningún error en la aplicación. A continuación se explican las pruebas realizadas para esta parte de la aplicación:

- Pruebas de las pantallas individualmente: se han realizado pruebas para verificar que los componentes de la interfaz están bien colocados y que funcionan correctamente.
- Pruebas de conexión entre pantallas: se ha comprobado que todos los elementos que dan lugar a un cambio de pantalla, como son los botones, funcionan correctamente y abren la pantalla que les corresponde.
- Pruebas de información compartida entre pantallas: se han realizado pruebas para comprobar que la información que se escribe en una pantalla y es usada por otra, como es el ID del Paciente, corresponda y sea el mismo en ambas pantallas.

5.2 Pruebas de parámetros de grabación

En estas pruebas se han comprobado que todos los parámetros de grabación sean los especificados en los requisitos. Ya que la Clase Java que se ha utilizado para grabar es *MediaRecorder* [41], y al inicio del proyecto no estaba familiarizado con ella, se tuvieron que hacer diferentes comprobaciones para ver que parámetros eran correctos y cuáles no. Al finalizar la grabación, se abría con la herramienta Audacity [39], que muestra las características del audio, y así poder comprobar que eran las correctas.

Al final se han cumplido todos los requisitos de grabación, salvo uno. El único que no se ha cumplido ha sido el grabar a una frecuencia de 8 kHz, debido a que el formato de audio permite grabar solo a 16 kHz. Esto no resulta un inconveniente grave ya que los ficheros se pueden convertir fácilmente a esa resolución para su almacenamiento y análisis.

5.3 Pruebas de grabación

Para realizar estas pruebas, ya con todo probado y funcionando correctamente, se parte de una grabación de sonidos respiratorios nocturnos en la cual se pueden observar los ronquidos de un voluntario, y si el ruido que genera es más intenso o más débil, dependiendo de la intensidad de los fragmentos de sonido. Para ello se utiliza la herramienta Audacity [39].

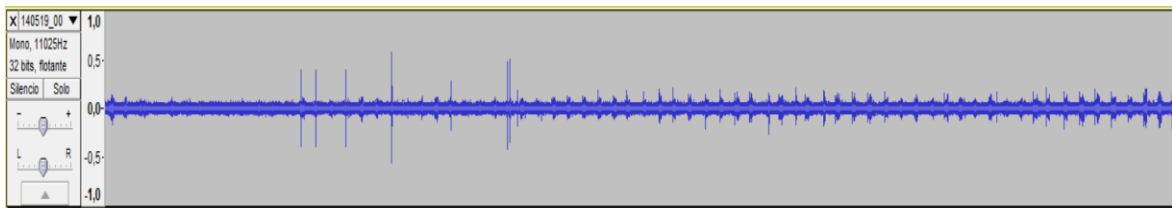


Figura 5-1: Forma de onda de una grabación con ronquidos

En la Figura 5-1 se muestra la forma de onda de la grabación, en la cual se pueden intuir los ronquidos por los altibajos en la amplitud de la señal. Para identificar ronquidos, es mejor visualizar la Figura 5-2 que muestra el espectro de la misma grabación de la Figura 5-1.

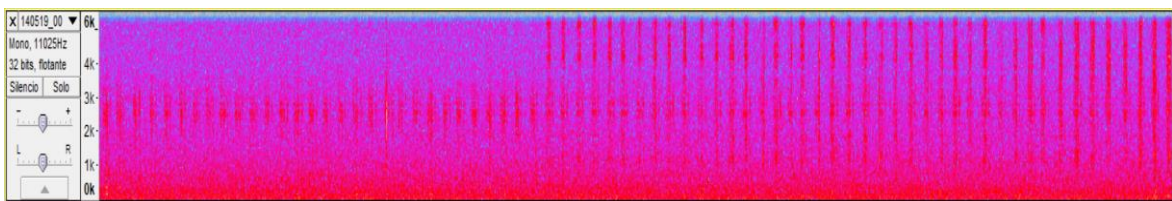


Figura 5-2: Espectro de una grabación con ronquidos

Al inicio de la grabación, se distinguen pequeños segmentos de frecuencia no muy alta. Estos segmentos son respiraciones profundas. Un poco antes de llegar a la mitad de la grabación, se puede ver que empiezan a producirse ronquidos, con componentes superiores en el espectro, lo que significa que los sonidos que se han producido son más intensos.

Una vez se sepan identificar los ronquidos, se pasan a grabar con la aplicación Apneadiag los sonidos respiratorios nocturnos de otro voluntario. El siguiente es el resultado de una grabación nocturna realizada con el móvil:

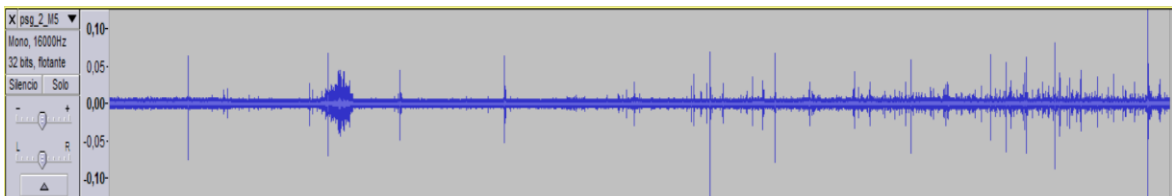


Figura 5-3: Forma de onda de una grabación realizada con el móvil sin ronquidos

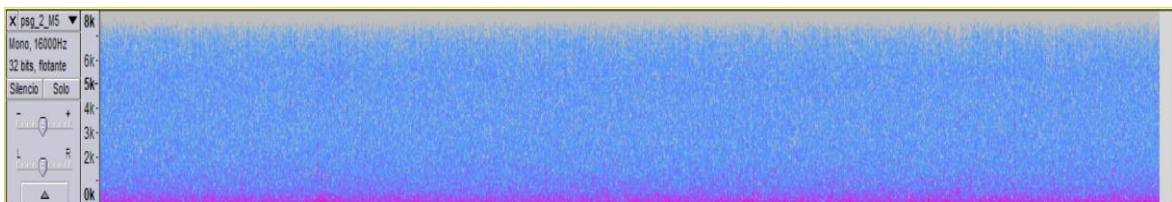


Figura 5-4: Espectro de una grabación realizada con el móvil sin ronquidos

Es una grabación en la cual no hay ronquidos, por ello las leves variaciones en la onda de la Figura 5-3, y la baja frecuencia de toda la grabación en el espectro de la Figura 5-4.

En el caso de que hubiese ronquidos el espectro sería similar al de la Figura 5-2, en el cual lo ronquidos se identifican con facilidad.

Otra prueba realizada fue, en una misma noche, grabar el sonido con el móvil y recoger los datos con la Poligrafía Nocturna Domiciliaria. Para observar los resultados de esta prueba se utilizan Audacity [39] y Noxturnal [40] respectivamente. Con el polígrafo se midieron muchos parámetros, pero los más importantes son los que se muestran a continuación: el porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina en sangre y los decibelios de los ronquidos.

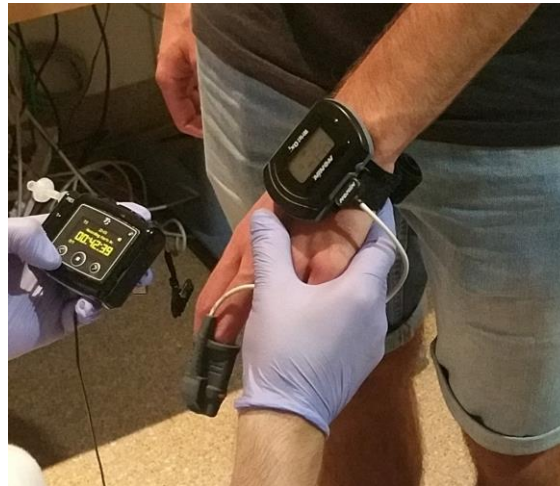


Figura 5-5: Polígrafo y Pulsioximetría

Para medir la saturación de oxígeno, el Pulsioxímetro se coloca en la muñeca del paciente, como se ve en la Figura 5-6, mientras que el Polígrafo, para recoger otras variables, se coloca en el pecho, sujeto con unas pinzas, que se enganchan a la camiseta, y con una cinta que rodea el torso del paciente.

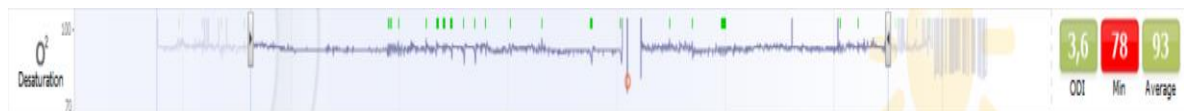


Figura 5-6: Saturación de oxígeno de la hemoglobina en sangre medida con la Pulsioximetría

Como se puede observar las medidas no son críticas, ya que la media de saturación es del 93%. Baja la media el intervalo en el cual se dejó de medir, debido a que la parte del Pulsioxímetro en la cual se introduce el dedo se salió, pero a pesar de ello la media sigue sin ser grave. Por esta razón tampoco hemos de fijarnos en el mínimo porcentaje de saturación (78%).

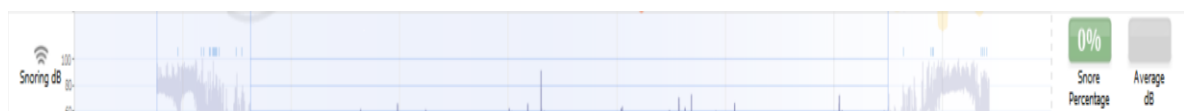


Figura 5-7: Decibelios (dB) de los ronquidos de la grabación nocturna medidos con el Polígrafo

En lo que respecta los ronquidos (Figura 5-7), y como comprobaremos también en el sonido grabado con el móvil, son mínimos en este voluntario, lo que aparece en el gráfico son o respiraciones profundas o ruido producido por notificaciones que llegan al móvil a pesar de no estar conectado a Internet.

Una vez se han analizado los aspectos más importantes de los resultados obtenidos con el Polígrafo, se pasa a analizar el sonido grabado con el móvil esa misma noche.

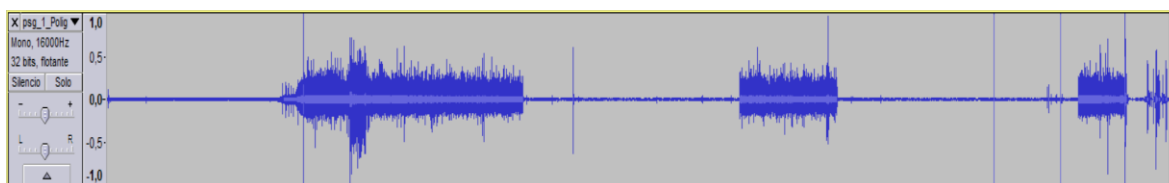


Figura 5-8: Forma de onda de una grabación realizada con el móvil junto con el Polígrafo

En la grabación de la Figura 5-8 se ven tres zonas de ruido constante. Estos tres segmentos del audio no son ronquidos, son ruidos que, probando con otras grabaciones nocturnas, se ha deducido que son causados por el cargador, ya que los días que no se grababa con el cargador enchufado no aparecían. Esto ha ocurrido en un solo teléfono de todos los analizados.

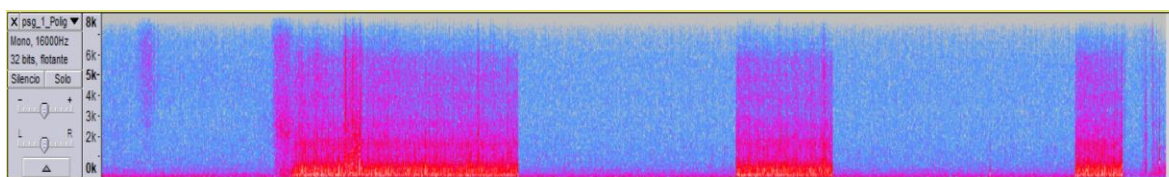


Figura 5-9: Espectro de una grabación realizada con el móvil junto con el Polígrafo

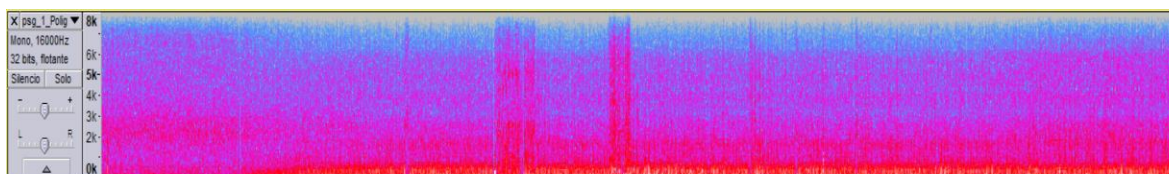


Figura 5-10: Zoom del espectro de la grabación realizada con el móvil junto con el Polígrafo

Como se observa en las figuras Figura 5-9 y Figura 5-10 (primer segmento de ruido de la Figura 5-9 ampliado), podemos confirmar que no son ronquidos, ya que es un ruido constante, y no un subir y bajar de la intensidad del espectro como debería ser en el caso de que fuesen ronquidos.

El resto de la señal de la onda de la Figura 5-8, es bastante constante y sin ronquidos, como se había adelantado en el resultado recogido con el Polígrafo.

Éste es un análisis preliminar. El análisis específico de los sonidos respiratorios registrados con la aplicación de forma simultánea a la poligrafía se realizará por parte del equipo de investigación de este proyecto. Los algoritmos de aprendizaje automático utilizados tratan de identificar eventos significativos en los sonidos respiratorios a partir de la recogida de datos tanto del móvil, como de la poligrafía domiciliaria. Como se ha mencionado anteriormente, los parámetros más importantes son la saturación de

oxihemoglobina y los ronquidos. En la saturación de oxihemoglobina se tratan de encontrar bajadas críticas que puedan ser producidas por apneas. En cambio, en el análisis de los ronquidos se tratan de identificar características que estén relacionadas con las apneas, durante las cuales un sujeto no produce sonidos debido al colapso de la vía aérea superior. Tampoco se producen sonidos si el paciente no ronca. Por esta razón, es necesario identificar eventos significativos, tanto en la señal como en su temporalidad para poder diferenciar sujetos sanos de sujetos con distintos grados de patología.

6 Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Conclusiones

Las conclusiones que se obtienen después de todo el trabajo realizado en este TFG son bastante satisfactorias, ya que se ha conseguido cumplir el objetivo propuesto al inicio del proyecto, es decir, desarrollar y validar una aplicación que sea capaz de grabar sonidos respiratorios nocturnos para poder comparar los sonidos con los registrados con el Polígrafo y así poder recomendar el diagnóstico del SAHS. La aplicación se ha desarrollado teniendo en cuenta las características del protocolo de poligrafía domiciliaria y la infraestructura del hospital para almacenar los sonidos respiratorios. Durante la validación se han resuelto varios problemas y se han identificado protocolos relevantes para el uso final de la aplicación como herramienta de recomendación de diagnóstico.

Para conseguir el objetivo ha sido necesario optimizar el diseño de la aplicación, para que esta sea sencilla de usar e intuitiva, utilizando los diferentes elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación en un contexto de recopilación de información de pacientes que pueden no ser expertos en el manejo del teléfono móvil (notificaciones, avisos, alarmas, grabación, etc.) y realizar varias pruebas que confirmasen el trabajo desempeñado.

El haber desarrollado este proyecto me ha servido para mejorar mis cualidades a la hora de gestionar un proyecto. Es decir, me ha ayudado a:

- Aprender a usar nuevas herramientas para editar imágenes, analizar sonidos, etc.
- Pensar y realizar toma de decisiones en lo que al diseño y al desarrollo de una aplicación se refiere.
- Aprender a gestionar los tiempos, programando las tareas a realizar.
- Ampliar mis conocimientos acerca de la programación del Sistema Operativo Android y de la programación con Android Studio.
- Y, para mí el más importante, ampliar los pocos conocimientos que tenía acerca de un ámbito tan importante como es el campo de la medicina, ya sea por los artículos leídos, por las reuniones con el equipo de investigación o por las diferentes visitas al Hospital Fundación de Alcorcón.

6.2 Trabajo futuro

Tras haber realizado esta primera versión de la aplicación Apneadiag para dispositivos móviles, el siguiente objetivo es desarrollar una siguiente versión que, una vez haya grabado, envíe la grabación a un servidor en el cual se analizarán con diferentes algoritmos de aprendizaje automático las grabaciones realizadas durante la noche, para así poder clasificar a los pacientes según su grado de patología. El éxito de estos algoritmos depende de la información recogida tanto en la poligrafía como en los registros de sonidos respiratorios. Cuando termine la fase de elaboración y validación de estos algoritmos, la aplicación podrá recomendar el diagnóstico del SAHS a aquellos que lo necesiten. En caso

de que fuese necesario recomendar el diagnóstico de SAHS, se enviaría un aviso desde la aplicación para informar al paciente que acuda a un hospital.

Por último, es importante destacar que esta aplicación se podría generalizar a otras patologías que se puedan diagnosticar a partir de los sonidos respiratorios, los sonidos de tos, o el análisis de voz.

Referencias

- [1] Julio Sánchez Fierro, “Big Data: Su Proyección en la Gestión Sanitaria”, Julio 2015. Fuente: <http://www.cofaresdigital.es/sin-categoria/big-data-salud/>
- [2] SCIS, AMETIC, FENIN, “Hacia la Transformación Digital del Sector de la Salud: 10 Medidas para su Impulso”, 2016. Fuente: <http://ametic.es/sites/default/files/LA%20TRANSFORMACION%20DIGITAL%20DEL%20SECTOR%20SALUD%20EN%20ESPA%C3%91A%20%202016.pdf>
- [3] Laura B. Madsen, “Data-Driven Healthcare: How Analytics and BI are Transforming the Industry”, 2014, Wiley. Fuente: https://www.sas.com/storefront/aux/en/spdatadrivhealth/66587_excerpt.pdf
- [4] Begoña Barturen Echeverría, “2016: Nuevas Tendencias en Salud Digital”, Enero 2016. Fuente: <http://www.cofaresdigital.es/actualidad-digital/tendencias-salud-digital/>
- [5] F. Lamónaca, G. Polimeni, K. Barbé, D. Grimaldi, “Health parameters monitoring by smartphone for quality of life improvement”, *Measurment* 73: pp. 82-94, 2015. Fuente: https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Lamonaca/publication/276509295_Health_parameters_monitoring_by_smartphone_for_quality_of_life_improvement/links/5588098408aebf4dfd7e5dc2.pdf
- [6] ABC, “Año 2017: más de 5,000 millones de usuarios móviles”, 2017. Fuente: http://www.abc.es/tecnologia/moviles/telefonos/abci-2017-mas-5000-millones-usuarios-moviles-201703011345_noticia.html
- [7] Countrymeters, “Población mundial”, 2017. Fuente: <http://countrymeters.info/es/World>
- [8] Google Fit. Fuente: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.fitness>
- [9] Ritmo Cardíaco – Monitor Pulso (*Instant Heart Rate*). Fuente: <https://play.google.com/store/apps/details?id=si.modula.android.instantheartrate&hl=es>
- [10] R. Silva, “Doce aplicaciones médicas para teléfonos inteligentes”, 2015. Fuente: <http://www.elhospital.com/blogs/12-aplicaciones-medicas-para-telefonos-inteligen+105280>
- [11] University of Washington. Fuente: <https://www.washington.edu/>
- [12] Southern Methodist University. Fuente: <http://www.smu.edu/>
- [13] MedlinePlus, “Ictericia del recién nacido”, 2015. Fuente: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001559.htm>
- [14] IM Médico, “Una app permite al Smartphone acceder a los datos de glucosa directamente desde los sensores FreeStyle Libre”, 2016. Fuente: <http://www.immedicohospitalario.es/noticia/9029/una-app-permite-al-smartphone-acceder-a-los-datos-de-glucosa-directamente-desde-los-sensores-freestyle-libre>
- [15] Abbott. Fuente: <http://www.abbott.com/>
- [16] AirStrip. Fuente: <http://www.airstrip.com/>
- [17] Abbott, “FreeStyle Libre”. Fuente: <https://www.freestylelibre.es/>
- [18] J. Penalva, “NFC: qué es y para qué sirve”, 2011. Fuente: <https://www.xataka.com/moviles/nfc-que-es-y-para-que-sirve>
- [19] Archivos de Bronconeumología, “Definición y concepto, fisiopatología, clínica y exploración del SAHS”, *Archivos de Bronconeumología*, 41 Supl 4: 12-29 – Vol. 41 DOI: 10.1016/S0210-5705(09)71003-9, 2005. Fuente:

- <http://www.archbronconeumol.org/es/definicion-concepto-fisiopatologia-clinica-exploracion/articulo/13084322/>
- [20] Wikipedia, “Vía aérea”, 2013. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADaa%C3%A9rea_\(anatom%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADaa%C3%A9rea_(anatom%C3%ADa))
 - [21] Clínica Universidad de Navarra, “Oxihemoglobina”, *Diccionario Médico*. Fuente: <http://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/oxihemoglobina>
 - [22] B. Jurado-Gámez, O. Guglielmi, F. Gude, G. Buéla-Casal, “Accidentes laborales, absentismo y productividad en pacientes con apnea del sueño”, *Archivos de Bronconeumología*, 51: 213-8 – Vol. 51 Núm.5 DOI: 10.1016/j.arbres.2014.07.003, 2015. Fuente: <http://www.archbronconeumol.org/es/accidentes-laborales-absentismo-productividad-pacientes/articulo/S0300289614002762/#bib0055>
 - [23] J. Durán-Cantolla, J. Mar, G. de La Torre Muñecas, R. Rubio Aramendi, L. Guerra, “The Availability in Spanish Public Hospitals of Resources for Diagnosis and Treating Sleep Apnea-Hypopnea Syndrome”, *Archivos de Bronconeumología*, 40 (6), 259-267, 2004. Fuente: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/labs/articles/15161592/>
 - [24] J. Behar, A. Roebuck, J. S. Domingos, E. Geder, G. D. Clifford, “A review of current sleep screening applications for smartphones”, *Physiological Measurement* 34 (7), R29-46 DOI: 10.1088/0967-3334/34/7/R29, 2103. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/239945821_A_review_of_current_sleep_screening_applications_for_smartphones
 - [25] Instituto del Sueño, “Polisomnografía”. Fuente: <http://www.iis.es/que-es-una-polisomnografia-prueba-del-sueno-a-domicilio-examen/>
 - [26] Dr. Hernan Chinski, Dr. Luis Chinski, “Poligrafía Nocturna del Sueño Dimiciliaria”, 2014. Fuente: <http://www.cechin.com.ar/poligrafia-nocturna-del-sueno/>
 - [27] A. Roebuck, V. Monasterio, E. Geder, M. Osipov, J. Behar, A. Malhotra, T. Penzel, G. D. Clifford, “A review of signals used in sleep analysis”, *Physiological Measurement* 35, R1-57 DOI: 10.1088/0967-3334/35/1/R1, 2103. Fuente: <http://diec.unizar.es/~laguna/personal/publicaciones/MonasterioPM2014.pdf>
 - [28] J. Russell, “Report: Android overtakes Windows as the internet’s most used operating System”, 2017. Fuente: <https://techcrunch.com/2017/04/03/statcounter-android-windows/>
 - [29] Statista, “Distribution of Android operating systems used by Android phone owners in May 2017, by platform version”, 2017. Fuente: <https://www.statista.com/statistics/271774/share-of-android-platforms-on-mobile-devices-with-android-os/>
 - [30] Moqups. Fuente: <https://app.moqups.com/edit/page/ad64222d5>
 - [31] Dia. Fuente: <http://dia-installer.de/index.html.es>
 - [32] Búsqueda avanzada de imágenes, Google. Fuente: https://www.google.com/advanced_image_search
 - [33] Phixr. Fuente: <http://es.phixr.com/>
 - [34] Online Image Editor. Fuente: <https://www.online-image-editor.com/?language=spanish>
 - [35] BeFunky. Fuente: <https://www.befunky.com/create/>
 - [36] Logaster. Fuente: <https://www.logaster.com.es/logo/#first>
 - [37] Da Button Factory. Fuente: <https://dabuttonfactory.com/>
 - [38] Android Studio. Fuente: <https://developer.android.com/studio/index.html?hl=es-419>
 - [39] Audacity. Fuente: <http://www.audacityteam.org/>
 - [40] Noxturnal, Noxmedical. Fuente: <http://www.noxmedical.com/products/noxturnal-software>

- [41] Android Developers, “MediaRecorder”. Fuente: <https://developer.android.com/reference/android/media/MediaRecorder.html>
- [42] Android Developers, “AlarmManager”. Fuente: <https://developer.android.com/reference/android/app/AlarmManager.html>
- [43] Wikipedia, “Android”, 2017. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Android>
- [44] Google, “Apnea definición”. Fuente: https://www.google.es/search?q=apnea+definicion&oq=apnea+def&gs_l=serp.3.0.0l8.14514.14875.0.15860.4.4.0.0.0.99.303.4.4.0....0...1.1.64.serp..0.4.302...0i67k1.BhKTVLFCjEU
- [45] J. Pérez Porto, M. Merino, “Definición de Bit”, 2011. Fuente: <http://definicion.de/bit/>
- [46] J. Pérez Porto, M. Merino, “Definición de Byte”, 2012. Fuente: <http://definicion.de/byte/>
- [47] Wikipedia, “Sonido monoaural”, 2016. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Sonido_monoaural
- [48] Google, “Clase java definición”. Fuente: https://www.google.es/search?q=clase+java+definicion&oq=clase+java+definicion&gs_l=serp.3..0j0i22i30k1l6.62744.67864.0.68065.33.27.6.0.0.0.120.1938.26j1.27.0....0...1.1.64.serp..0.33.1959...0i67k1j0i131k1j0i22i10i30k1j0i13k1j0i10k1.l469Ca2rLcs
- [49] Google, “Electroencefalograma”. Fuente: https://www.google.es/search?q=electroencefalograma&oq=electroencefalograma&gs_l=serp.3..0i67k1l4j0l6.2971.4206.0.4363.4.3.1.0.0.0.112.249.2j1.3.0....0...1.1.64.serp..0.4.254...0i13k1.szPINXFe8-8
- [50] Wikipedia, “Frecuencia de muestreo”, 2017. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_de_muestreo
- [51] Google, “Hemoglobina definición”. Fuente: https://www.google.es/search?q=hemoglobina+definicion&oq=hemoglobina+definicion&gs_l=serp.3..0i7i30k1j0i67k1j0i7i30k1l8.105954.107740.0.107892.11.11.0.0.0.0.96.793.11.11.0....0...1.1.64.serp..0.11.789.6l4hkdsFokA
- [52] Wikipedia, “Hipopnea”, 2015. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hipopnea>
- [53] Wikipedia, “Entorno de desarrollo integrado”, 2017. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Entorno_de_desarrollo_integrado
- [54] Wikipedia, “Hercio”, 2017. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hercio>
- [55] Google, “Oxihemoglobina definición”. Fuente: https://www.google.es/search?q=oxihemoglobina+definicion&oq=oxihemoglobina+definicion&gs_l=serp.3..0i67k1j0i30k1l4.4359.6671.0.6817.14.14.0.0.0.0.131.1073.10j3.13.0....0...1.1.64.serp..3.11.880...0i7i30k1j0i13k1.ax9COAZi6XY
- [56] Wikipedia, “Modulación por impulsos codificados”, 2017. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_impulsos_codificados
- [57] A. J. Blaivas, “Polisomnografía”, 2016. Fuente: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003932.htm>
- [58] Wikipedia, “Polígrafo”, 2016. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%ADgrafo>
- [59] Wikipedia, “Pulsioximetría”, 2017. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pulsioximetr%C3%ADa>
- [60] Dr. S. M. Herrero, “¿Qué es un pulsioxímetro?”, 2011. Fuente: <https://infouci.org/2011/10/30/pulsioximetro/>
- [61] Wikipedia, “Resolución digital”, 2017. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Resoluci%C3%B3n_digital
- [62] Wikipedia, “Neuropsiquiatría”, 2016. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Neuropsiquiatr%C3%ADa>

[63] J. Perez Porto, M. Merino, “Definición de Windows”, 2013. Fuente:
<http://definicion.de/windows/>

Glosario

Android	Sistema Operativo diseñado principalmente para dispositivos móviles, como son teléfonos inteligentes, tablets, relojes inteligentes, televisores y automóviles.
Apnea	Suspensión transitoria de la respiración.
Bit	Concepto que se utiliza en informática para nombrar a una unidad de medida de información. Es la unidad más pequeña de información.
Byte	Unidad de información formada por una seguidilla de bits adyacentes.
Canal de grabación	Grabación captada con un solo micrófono.
Clase Java	Paquete o fragmento de código Java.
Actividad Electroencefalográfica	Actividad del cerebro.
Frecuencia	También conocida como Frecuencia de Muestreo, es el número de muestras por unidad de tiempo que se toman de una señal.
Hemoglobina	Pigmento rojo contenido en los glóbulos rojos de la sangre, cuya función es captar el oxígeno de los alveolos pulmonares y comunicarlo a los tejidos.
Hipoapnea	Disminución del flujo aéreo de magnitud superior al 50% del flujo durante el reposo.
Ictericia Neonatal	Cuando un bebé tiene un alto nivel de bilirrubina en sangre.
IDE	Entorno de desarrollo integrado. Es una aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software.
kHz	Hz (Hercio) es la unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades. kHz es la medida que corresponde a 1000 Hz.
MB	MegaByte, es la unidad que corresponde a 10^6 Bytes.
Mono	Que tiene un único canal de grabación.

Oxihemoglobina	Derivado inestable y reversible de la hemoglobina combinada con oxígeno, representa la forma transportadora de oxígeno de la hemoglobina.
PB	PetaByte, es la unidad que corresponde a 10^{15} Bytes.
PCM	Modulación por Impulsos Modificados, es un procedimiento utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits (señal digital).
Polígrafo	Instrumento de medición que registra simultáneamente varios valores físicos.
Polisomnografía	Estudio del sueño.
Pulsioximetría	Método que permite determinar el porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina en sangre de un paciente.
Pulsioxímetro	Instrumento que mide la saturación de oxígeno en los tejidos.
Resolución de bits	La resolución viene determinada por la longitud del número de bits, es decir por la agrupación de bits con que se va componiendo la señal.
SAHS	Síndrome de Apneas-Hipoapneas del sueño.
Sensor FreeStyle Libre	Sensor que recoge y almacena los valores de glucosa día y noche.
Tarjeta calibración	Tarjeta utilizada para diferenciar las condiciones de luz con el tono de la piel.
Tecnología NFC	Tecnología inalámbrica para comunicación instantánea, es decir, para validar e identificar equipos y/o personas.
TIC	Tecnologías de la Información y de la Comunicación.
Trastorno Neuropsiquiátrico	Trastorno mental atribuible a enfermedades del sistema nervioso.
VAS	Vía Aérea Superior, formada por las fosas nasales, la boca, la faringe y la laringe.
Windows	Sistema Operativo diseñado para ordenadores y móviles.

Anexos

A Manual de instalación

Para instalar la aplicación en un dispositivo móvil habrá que seguir los siguientes pasos:

1. Descargar el entorno Android Studio. Podrá descargarlo en el siguiente enlace: <https://developer.android.com/studio/index.html?hl=es-419>
2. En el enlace se ofrecen los pasos a seguir para instalar Android Studio.
3. Ya que el proyecto estará en el ordenador del Hospital Fundación Alcorcón no hará falta descargarlo.
4. Abrir la herramienta Android Studio y seleccionar File → Open. Tras abrirse el Explorador de Archivos, seleccionar la carpeta del proyecto de la aplicación.
5. Una vez abierto el proyecto, habrá que activar el modo desarrollador en el dispositivo móvil para instalar la aplicación. Para ello se deberá acceder, en el móvil, a los Ajustes → Información del teléfono (esta opción puede cambiar de nombre, puede que sea Acerca del teléfono, u otras) → Pulsar 7 veces sobre la opción Número de compilación, hasta que se active el Modo desarrollador.
6. Una vez activado, acceder a Ajustes → Opciones de desarrollo → Activar la opción Depuración por USB.
7. A continuación, pulsar en el botón ► (Run app) en el Android Studio. En el teléfono, aparecerá un mensaje pidiendo al usuario permiso para activar la depuración por USB.
8. Si el usuario acepta, se deberá seleccionar, en la ventana que se abrió al pulsar en el botón ► en el Android Studio, el dispositivo conectado para instalar la aplicación en él.

B Manual de uso para el técnico del hospital

A continuación se explica el proceso que debe seguir el técnico del hospital desde que se instala la aplicación, hasta que se extrae del teléfono:

- Instalar la aplicación siguiendo los pasos del anexo anterior (Anexo A).
- Una vez instalada en el móvil, se abrirá la pantalla de permisos, en la cual el paciente deberá aceptar ambos para que se pueda grabar y se pueda almacenar en el teléfono la grabación.
- Tras aceptar los permisos, se pasará a la pantalla en la cual el técnico deberá introducir el ID de paciente correspondiente en el campo disponible.
- Introducido el ID, la aplicación ya estará lista para que se realice la grabación, por lo que se podrá extraer el USB del móvil.
- El paciente se llevará el móvil con la aplicación y el polígrafo, para la recogida de datos nocturna.
- Una vez de vuelta al hospital con las pruebas ya realizadas, se volverá a conectar el móvil al ordenador con el USB.
- Una vez conectado, se deberán abrir la aplicación en el móvil y el explorador de archivos en el ordenador.
- Acceder a los ajustes de la aplicación para obtener la ruta en la cual se encuentra la grabación.
- Acceder a dicha ruta en el explorador de archivos:
 - o Abrir el Explorador de Archivos.
 - o Pinchar en el dispositivo móvil conectado.
 - o Acceder a Almacenamiento Interno.
 - o Acceder a la carpeta en la que se encuentra la grabación (el nombre de la carpeta es el ID del paciente introducido).
- Copiar el archivo y pegarlo en la carpeta deseada del ordenador del hospital.

C Instrucciones de Uso

A continuación se muestran las instrucciones que deberán seguir los usuarios para utilizar correctamente la aplicación Apneadiag (también dispondrán de estas instrucciones en los ajustes de la aplicación para consultar cualquier duda que surja):

Preparatorio para la Grabación:

- Mantener el cargador enchufado durante toda la grabación para que no se apague el móvil.
- Se recomienda activar el Modo Avión antes de empezar a grabar para que ésta no se vea interrumpida por llamadas telefónicas, siempre y cuando no esté a la espera de una llamada urgente.
- El móvil deberá disponer de 100 MB de memoria disponible para la grabación.
- El dispositivo móvil deberá estar lo más cerca posible a su cabeza, ya sea en la mesilla de noche o sobre otro elemento que lo mantenga a una distancia cercana a la almohada. Oriente el micrófono (situado en la parte inferior del teléfono) hacia la almohada.

Avisos precedentes a la Grabación:

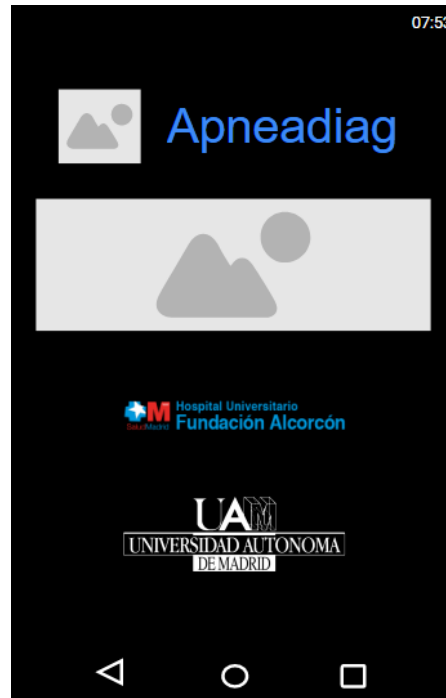
- Cada vez que se abra la pantalla de grabación, si usted no dispone de los 100 MB de espacio en memoria, se le abrirá un aviso que le mostrará el espacio de memoria que debe liberar de su móvil para que la grabación se pueda realizar.
- A las 23:30 le llegará una notificación al móvil como recordatorio de que es recomendable activar el modo avión durante la noche para no interrumpir la grabación, siempre y cuando no esté esperando una llamada urgente.
- A las 23:35 le llegará un recordatorio para que conecte el cargador al móvil. Como se ha mencionado antes, éste deberá mantenerse conectado durante toda la grabación para que el móvil no se quede sin batería.

Grabación:

- La grabación empezará automáticamente a las 23:45.
- La grabación finalizará automáticamente a las 6:45.
- Una vez finalizada la grabación, no la borre hasta que esté en manos de los médicos del hospital.

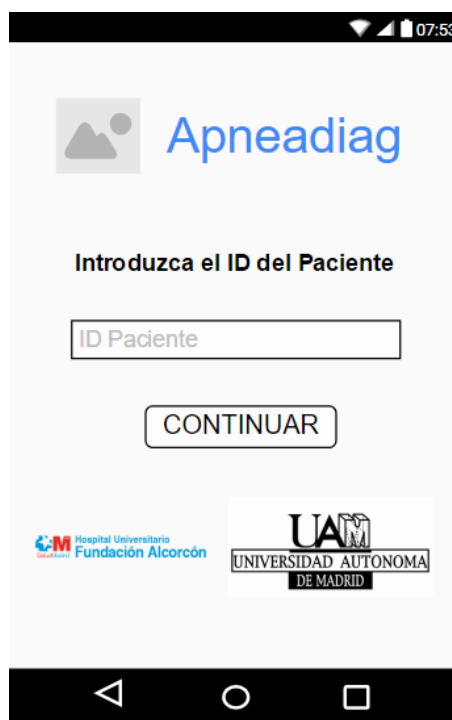
D Maquetas de la aplicación

- *Splash Screen:*



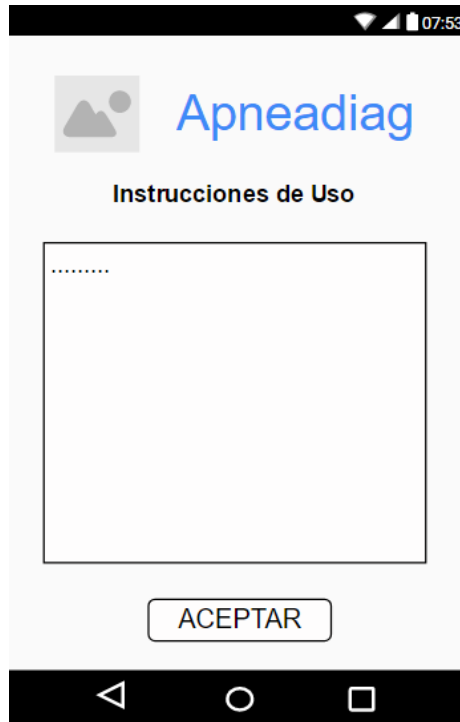
Maqueta de la pantalla *Splash Screen*

- **Formulario de Registro del Paciente:**



Maqueta de la pantalla de registro del ID del Paciente

- **Instrucciones de uso:**



Maqueta de la pantalla de Instrucciones de uso

- **Pantalla de Grabación:**



Maqueta de la pantalla de grabación en estado Listo

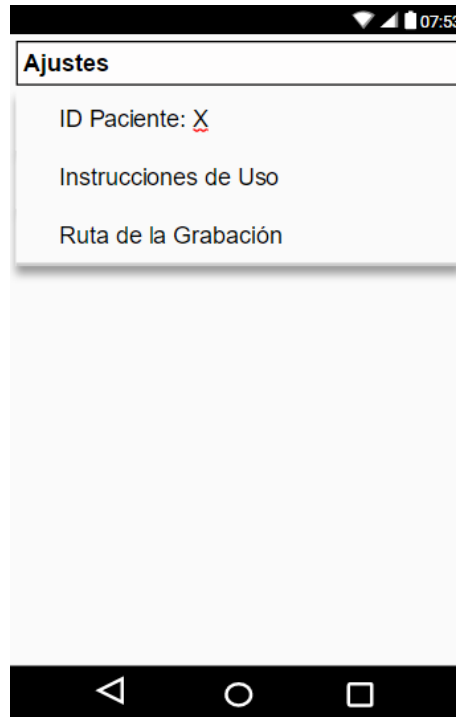


Maqueta de la pantalla de grabación en estado Grabando



Maqueta de la pantalla de grabación en estado Finalizado

- Ajustes:



Maqueta de la pantalla de ajustes